le Scienze

Novembre 2019
euro 4,90

edizione italiana di Scientific American

NUMERO SPECIALE

# VERITÀ BUGIE & INCERTEZZA

- Come il cervello costruisce la realtà
- Perché ci fidiamo delle bugie
- Inganni nel mondo animale
- Come imbrogliare la democrazia
- Il nuovo disordine mondiale

Nell'era delle fake news e della post-verità, la scienza ci aiuta a difenderci dalle manipolazioni e ad affrontare dubbi e incertezze

in copertina

# Sommario

Nell'era delle fake news un numero speciale in cui cerchiamo di esplorare come sia possibile che viviamo tutti nello stesso mondo ma vediamo la realtà in modi così diversi (*Illustrazione Red Nose Studio*)

novembre 2019 numero 615


## 28 NUMERO SPECIALE — VERITÀ BUGIE & INCERTEZZA

30 VERITÀ

FISICA
**32 Realtà virtuale**
*di George Musser*
Perché una spiegazione fondamentale della realtà potrebbe essere diversa dalla fisica attuale

MATEMATICA
**37 Il gioco dei numeri**
*di Kelsey Houston-Edwards*
Gli oggetti matematici esistono o sono pure finzioni? I filosofi hanno opinioni discordanti

NEUROSCIENZE
**42 Il creatore della realtà**
*di Anil Seth*
È il cervello a costruire la realtà, e non esistono due cervelli esattamente uguali

50 BUGIE

ETOLOGIA
**52 Inganni nel mondo animale**
*di Barbara J. King*
*Homo sapiens* non è la sola specie a mentire. Nel regno animale, la disonestà abbonda.

SCIENZA DELLE RETI
**57 Perché ci fidiamo delle bugie**
*di Cailin O'Connor e James Owen Weatherall*
L'informazione sbagliata più efficace inizia con granelli di verità

ECONOMIA COMPORTAMENTALE
**64 Disonestà contagiosa**
*di Dan Ariely e Ximena Garcia-Rada*
La disonestà genera altra disonestà, facendo diffondere nella società i comportamenti disonesti

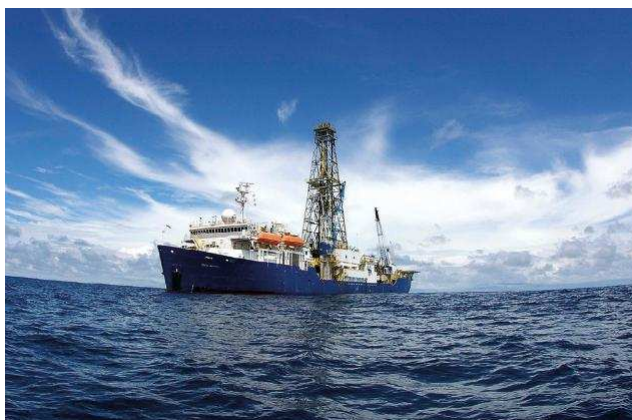
SICUREZZA INFORMATICA
**69 Come imbrogliare la democrazia**
*di J. Alex Halderman, testo raccolto da Jen Schwartz*
I peggiori scenari di guerra cibernetica per le elezioni presidenziali degli Stati Uniti del 2020

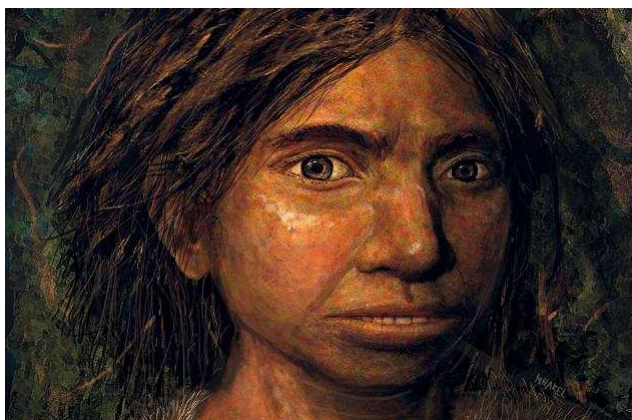
74 INCERTEZZA

PSICOLOGIA DEI PROCESSI DECISIONALI
**76 Scelte difficili**
*di Baruch Fischhoff*
Come prendiamo le nostre decisioni se abbiamo di fronte incertezza e conoscenze incomplete

DATA SCIENCE
**82 Confrontare le incognite**
*di Jessica Hullman*
Come interpretare l'incertezza nelle forme più comuni di visualizzazione dei dati

PSICOLOGIA SOCIALE
**86 Cambiamento radicale**
*di Michael A. Hogg*
L'incertezza nel mondo minaccia il senso del sé, e per affrontarla le persone abbracciano il populismo

COMUNICAZIONE
**90 Un nuovo disordine mondiale**
*di Claire Wardle*
La propensione a condividere contenuti senza riflettere viene sfruttata per diffondere disinformazione

12

14

18


**7 Editoriale**
*di Marco Cattaneo*

**8 In edicola**

**12 Intervista**
Studiare la Terra fino in fondo *di Davide Michielin*

**14 Made in Italy**
Un manto stradale ad alta tecnologia *di Letizia Gabaglio*

**16 Il matematico impertinente**
Breve storia del pallone *di Piergiorgio Odifreddi*

**17 Scienza e filosofia**
Verità e «prospettivismo» *di Elena Castellani*

**18 Homo sapiens**
Una faccia per Denisova *di Giorgio Manzi*

**19 La finestra di Keplero**
Le ragioni di un premio *di Amedeo Balbi*

**96 Coordinate**
Un punto decisivo sul clima *di Mark Fischetti*

**97 Povera scienza**
Dieta all'ultimo respiro *di Paolo Attivissimo*

**98 La ceretta di Occam**
Si fa presto a dire naturale *di Beatrice Mautino*

**99 Pentole & provette**
L'acidità del pomodoro *di Dario Bressanini*

**100 Rudi matematici**
Festa? Quale festa?
*di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio*

**102 Libri & tempo libero**


SCIENZA NEWS


**20** La stella di neutroni più massiccia
**22** NOBEL L'illusione delle donne
Pionieri del cosmo e dei mondi alieni
Il senso delle cellule per l'ossigeno
Un mondo di ricarica
**24** I buchi neri non hanno capelli
**24** Il protone si è ristretto: una nuova conferma
**25** Modelli di embrione che fanno discutere
**25** L'eredità dei Denisova che ci aiuta contro le infezioni
**26** Brevissime


Cortesia Arito Sakaguchi & IODP/TAMU (*in alto*); cortesia Iterchimica (*al centro*); cortesia Maayan Harel (*in basso*)

UNESCO
Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Educazione, la Scienza e la Cultura

Con il patrocinio della **Commissione Nazionale Italiana** per l'UNESCO

REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORADU DE SU TURISMU, ARTESANIA E CUMMÈRTZIU
ASSESSORATO DEL TURISMO, ARTIGIANATO E COMMERCIO
ASSESSORATO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE
BENI CULTURALI, INFORMAZIONE, SPETTACOLO E SPORT
SARDEGNA

COMUNE DI CAGLIARI
*ASSESSORATO CULTURA, PUBBLICA ISTRUZIONE E SPETTACOLO*
CAGLIARI

CITTÀ METROPOLITANA DI CAGLIARI

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI

Organizzato e promosso da Scienza Società Scienza Associazione

# FestivalScienza
## CAGLIARI

- XII EDIZIONE -

# SCIENZA è cultura

**7-12 novembre 2019**

EXMA EXHIBITING AND MOVING ARTS, **CAGLIARI** - *via San Lucifero 71*

DATE E SEDI DEL **FESTIVALSCIENZA** 2019

| Cagliari | Oristano | Siniscola |
|---|---|---|
| *7-12 XI* | *13-15 XI* | *18-20 XI* |
| **Sarcidano** | **Iglesias** | |
| *21-23 XI* | *28-30 XI* | |

**Evento speciale** Nuoro 15 e 16 novembre

**Info e prenotazioni:** ***prenotazionifsc@gmail.com***
T. 366 256 28 01 dal 18 ottobre dal lunedì al sabato, ore 10-13 e 16-19

***www.festivalscienzacagliari.it***

Col contributo di Fondazione di Sardegna e-distribuzione CTM spa

Si ringraziano le case editrici:
*1088 Press, Codice Edizioni, Editoriale Scienza, Edizioni Dedalo, Il Mulino, Mediando, Mondadori, PubbliA*

Sviluppo grafico e coordinamento visivo: Rinaldo Crespi

di Marco Cattaneo

Editoriale

# L'insostenibile incertezza della realtà

## Perché la scienza resta il miglior strumento di cui disponiamo per interpretare il mondo

Nel 2016 l'Oxford Dictionary ha nominato parola dell'anno il termine *post-truth*, post-verità. Si riferisce alla scomparsa di standard obiettivi condivisi per la verità, per cui in una discussione – soprattutto in politica – i fatti oggettivi passano in secondo piano rispetto ai riferimenti emotivi, diventando meno influenti nel formare l'opinione pubblica.

Il primo a farne uso è stato Steve Tesich, romanziere, drammaturgo e sceneggiatore statunitense di origine serba, in un saggio pubblicato sul settimanale «The Nation» nel gennaio 1992. In seguito alle vergognose rivelazioni dello scandalo Watergate, scrive Tesich, «siamo arrivati a identificare la verità con le cattive notizie, e non volevamo più cattive notizie, non importa quanto vere o vitali fossero per la nostra salute come nazione. Ci siamo affidati al nostro governo per proteggerci dalla verità». La copertura mediatica più addomesticata dello scandalo Iran-Contras e della prima Guerra del Golfo ne era la prova.

Tesich concludeva con un monito agghiacciante: «Stiamo rapidamente diventando i prototipi di un popolo per cui i mostri totalitari potevano solo sbavare nei loro sogni. Finora i dittatori hanno dovuto lavorare sodo per sopprimere la verità. Noi, con le nostre azioni, diciamo che non è più necessario, che abbiamo acquisito un meccanismo spirituale che può svuotare la verità di qualsiasi significato. In un modo molto fondamentale noi, come popolo libero, abbiamo liberamente deciso che vogliamo vivere in un mondo di post-verità».

Se non vi è corso un brivido lungo la schiena, probabilmente negli ultimi anni siete stati distratti.

Ma facciamo un salto nel mondo dei Bolsonaro e dei Trump, dei Putin, dei Farage, dei Boris Johnson e, come scordarli, dei sovranisti nostrani. Un mondo in cui la manipolazione dell'opinione pubblica – che c'è sempre stata, intendiamoci – ha raggiunto una potenza di fuoco senza precedenti, che passa attraverso bot, algoritmi di intelligenza artificiale, foto e video contraffatti, legioni di falsi profili sui social network.

E facciamo un salto all'ultimo articolo di questo numero. Dove Claire Wardle racconta uno dei più inquietanti casi «di interferenza straniera in un'elezione negli Stati Uniti». È successo a Houston, ma è stato coordinato in Russia. Un team di agenti provocatori ha aperto due pagine Facebook. Una, «Heart of Texas», spazzatura da suprematisti, ha lanciato un evento per il 21 maggio 2016, con lo slogan «Fermiamo l'islamizzazione del Texas». L'altra pagina, «United Muslims of America», ha convocato l'iniziativa «Salviamo il sapere islamico». Nello stesso posto e alla stessa ora. Lo scopo, amplificare le tensioni. Il risultato, il caos.

Nemmeno la scienza è immune a questo annebbiamento collettivo. Basta pensare al *false balance* dei dibattiti televisivi sul clima o sui vaccini. E anche se la scienza stessa non dà certezze – non offre verità assolute nemmeno in fisica, come spiega bene George Musser a pagina 32 – resta il miglior strumento di cui disponiamo per interpretare il mondo.

Perché la scienza ha una qualità: misura l'incertezza. E avere una misura dell'incertezza è il terreno solido su cui si può pensare di costruire una visione condivisa della realtà. Una visione necessaria, in un'epoca in cui ci aspettano decisioni cruciali, e possibilmente razionali per il futuro della nostra stessa civiltà.

Allegato a richiesta con «Le Scienze» di dicembre *Teorie del tutto* di Frank Close, un libro sulla ricerca di un'unica teoria che descriva l'universo

# Un quadro unico del cosmo

Uno degli obiettivi più ambiziosi della fisica è la definizione di un unico quadro teorico in grado di spiegare l'universo a ogni scala dimensionale e temporale, dagli ammassi di galassie al mondo subatomico, dal cosmo dei primordi al suo stato attuale. È una conseguenza quasi ovvia delle conoscenze acquisite dai tempi di Galileo Galilei e Isaac Newton fino a oggi, con la rilevazione del bosone di Higgs, il tassello che mancava al modello che descrive le particelle elementari e le loro interazioni.

Nonostante gli sforzi dei ricercatori, però, questo obiettivo ambizioso è ancora lontano. Ma vista la posta in gioco vale la pena perseguirlo, come racconta Frank Close in *Teorie del tutto*, libro allegato a richiesta con il numero di «Le Scienze» di dicembre. Fisico delle particelle, professore all'Università di Oxford, e autore di libri divulgativi di successo, Close illustra le teorie candidate a fornire un quadro unitario dell'universo, come la teoria delle superstringhe e quella della gravità quantistica a loop, e le questioni aperte che ancora ostacolano il raggiungimento di uno dei traguardi più agognati dalla scienza, tra cui la natura dell'energia oscura, responsabile dell'espansione accelerata dell'universo, e quella dei buchi neri, la costante cosmologica.

Già in passato, ricorda Close, dopo scoperte rivoluzionarie c'era stata la tentazione di aver decretato la fine della fisica. Ma erano abbagli che sarebbero stati smentiti con successive scoperte, ancora rivoluzionarie, in un rincorrere una concezione unitaria del cosmo che continua a sfuggire. I pilastri su cui costruire questa cattedrale definitiva sono già stati gettati, come suggerisce l'autore ripercorrendo lo stato dell'arte della fisica. I carpentieri però sono ancora al lavoro.

QUADERNI

## Tutta la scienza in formato digitale

Una collana esclusivamente digitale, composta di numeri monografici che raccolgono alcuni dei migliori articoli, italiani e internazionali, pubblicati nell'edizione cartacea e in quella on line della rivista su un tema di attualità scientifica. *I quaderni de Le Scienze* possono essere acquistati sul nostro sito web a 2,99 euro in offerta promozionale di lancio. Dopo le prime due uscite di settembre sulla materia oscura e sull'impatto del riscaldamento globale su Artide e Antartide, è disponibile un nuovo numero, in formato PDF interattivo, scaricabile e stampabile: *I Neanderthal e noi*, tutto quello che sappiamo e che ci lega a questa specie umana estinta, le cui tracce sono ancora presenti nel nostro DNA. E da metà novembre, appuntamento con l'intelligenza artificiale.

I quaderni de le Scienze

I Neanderthal e noi

FUMETTI

## Manga per diventare scienziati

Se siete appassionati di fumetti e di scienza, in edicola potrete trovare *I manga delle scienze*, un'iniziativa di «Le Scienze» e «la Repubblica», in vendita a 9,90 euro in più oltre al prezzo della rivista o del giornale. La collana dei manga di scienza ha cadenza settimanale, dal 4 ottobre al 20 dicembre. È disponibile anche in formato digitale, che potete acquistare sul nostro sito web: www.lescienze.it .

**PIANO DELL'OPERA**

4 ottobre
**Fisica**
11 ottobre
**Analisi matematica**
18 ottobre
**Relatività**
25 ottobre
**Biologia: DNA e genetica**
1 novembre
**Statistica**
8 novembre
**Astronomia**
15 novembre
**Database**
22 novembre
**Elettromagnetismo**
29 novembre
**Biochimica**
6 dicembre
**Matematica**
13 dicembre
**Regressione**
20 dicembre
**Anatomia**



iStock; elaborazione Le Scienze

Un bilancio su passato, presente e futuro degli ambiziosi progetti di esplorazione oceanica profonda

# Studiare la Terra fino in fondo

«Ricorda di guardare in alto alle stelle, e non ai tuoi piedi». Preso alla lettera, il celebre monito dell'astrofisico Stephen Hawking – coniato per esortare le persone a non lasciarsi abbattere dagli innumerevoli ostacoli che affollano la nostra esistenza – riflette una delle aspirazioni più antiche del genere umano e il suo paradosso. Nell'ultimo mezzo secolo le agenzie spaziali hanno portato l'uomo sulla Luna e i suoi veicoli su Marte, piazzato stazioni spaziali nell'orbita della Terra e spedito sonde al di fuori del sistema solare. Eppure, di quello che si trova al di sotto dei nostri piedi sappiamo ancora relativamente poco, e in buona parte solo tramite metodi indiretti.

Per colmare questa lacuna, nel 1968 nasceva negli Stati Uniti il Deep Sea Drilling Project (DSDP), un ambizioso programma di perforazioni oceaniche che nei decenni successivi sarebbe stato adottato da un consorzio internazionale di istituti impegnati nello studio della geologia marina. L'attuale fase, denominata International Ocean Discovery Program (IODP), è iniziata nel 2013 e si concluderà nel 2023. Di recente è iniziata la pianificazione del programma successivo. Abbiamo chiesto a Elisabetta Erba, presidente della commissione IODP-Italia di tracciare un bilancio su passato, presente e futuro dell'esplorazione oceanica profonda.

**Da quali presupposti è nato il programma di perforazioni oceaniche?**

Nasce dall'esigenza degli Stati Uniti di riaffermare la propria egemonia, non solo militare ed economica ma anche tecnica e scientifica, sull'Unione Sovietica. Non è un caso che il progenitore del DSDP, cioè il progetto MoHole, sia stato avviato nel 1961, lo stesso anno del volo nello spazio di Jurij Gagarin. Per rimediare allo smacco spaziale serviva un traguardo eclatante: gli Stati Uniti sarebbero stati il primo paese a perforare la crosta terrestre fino a raggiungere il mantello.

**E ci riuscirono?**

No, il progetto fu presto abbandonato. L'impresa rimane tuttora incompiuta: attualmente, la perforazione più profonda supera di poco i 12 chilometri. Non è nemmeno un terzo dello spessore della crosta terrestre. In compenso, l'avvio del MoHole e la disponibilità di nuove tecnologie posero le basi di un programma di ricerca dedicato esclusivamente alla caratterizzazione dei fondi oceanici. Per 15 anni la nave di perforazione *Glomar Challenger* del DSDP girò ininterrottamente per i sette mari. Nei primi tempi i ricercatori a bordo erano esclusivamente statunitensi, con alcune eccezioni: la prima scienziata straniera fu Maria Bianca Cita, una micropaleontologa italiana.

**Quali risultati ottennero?**

Molteplici. Non dobbiamo dimenticare che all'epoca i fondi oceanici erano quasi del tutto inesplorati. Il risultato più eclatante rimane la scoperta delle dorsali e delle fosse oceaniche: solo nei primi due anni di attività, le crociere della *Glomar Challenger* resero possibile la formulazione della teoria della tettonica delle placche. In tempi più recenti un'altra scoperta straordinaria, avvenuta però nel corso della successiva fase internazionale, riguarda la cosiddetta biosfera profonda.

**Ci può spiegare meglio?**

Sono comunità microbiche che sopravvivono in condizioni ambientali estreme a migliaia di metri di profondità, presso sorgenti idrotermali o nei sedimenti più profondi: un esempio plausi-

Cortesia Arito Sakaguchi & IODP/TAMU (JOIDES Resolution); cortesia Erba (*Erba*)

di Davide Michielin

CHI È

ELISABETTA ERBA

Laureata in scienze geologiche, è professore ordinario di paleontologia e paleoecologia all'Università degli Studi di Milano, dove ha conseguito il dottorato in scienze della Terra. La sua attività di ricerca è focalizzata sui nanofossili calcarei usati nella datazione delle rocce e nelle ricostruzioni paleoclimatiche e paleoceanografiche. Inoltre, studia i sedimenti marini per comprendere cause e conseguenze dei cambiamenti globali del passato e attuali. Presidente della Società geologica italiana tra il 2014 e il 2017, ha ricoperto numerose posizioni di coordinamento nell'ambito dell'ODP e quindi dell'IODP. Dal 2019 è presidente della commissione IODP-Italia.

**A spasso per i mari.** La nave JOIDES Resolution usata per ricerche scientifiche nell'ambito dell'International Ocean Discovery Program.

bile di come potrebbe essersi sviluppata la vita sul nostro pianeta. Ma siamo consapevoli che, per quanto poco, le perforazioni violano ecosistemi inalterati. Per questo motivo l'IODP si è dotata di una commissione dedicata a limitare l'impatto antropico.

**Per molti versi, il 1983 rappresenta uno spartiacque.**

Sì. Non solo nella gestione finanziaria delle crociere, che diventa condivisa tra più paesi, ma anche nella programmazione scientifica: da quel momento i progetti sono esaminati e approvati da commissioni di esperti internazionali. L'Italia, come parte del consorzio europeo ECORD, è stata tra i primi sostenitori del nuovo Ocean Drilling Program (ODP), di cui l'attuale IODP è l'erede più recente. Nel 1985 l'ormai vetusta *Glomar Challenger* è stata sostituita dalla *JOIDES Resolution* alla quale è stata affiancata nel 2007 la giapponese *Chikyu*. L'Europa contribuisce affittando infrastrutture dall'industria, come piattaforme e navi, per alcune missioni specifiche per le quali le due navi non sono adatte.

**Veniamo al presente. Quali sono gli attuali filoni di ricerca?**

Lo studio dei rischi geologici come terremoti, vulcanismo e frane sottomarine; le dinamiche interne del pianeta; le comunità microbiche della biosfera profonda; l'evoluzione del biota marino. Infine, lo studio del paleoclima: se le carote di ghiaccio permettono di ricostruire il clima del pianeta fino a un milione di anni fa, la lettura dei sedimenti oceanici può portarci indietro nel tempo di oltre 150 milioni di anni. I dati raccolti sono liberamente accessibili a tutti, così come le mappe: li può trovare perfino in Google Earth!

**Il libero accesso ai dati è un'arma a doppio taglio. Non temete che l'industria petrolifera possa avvantaggiarsene?**

L'IODP è un programma prettamente scientifico: i nostri dati sui fondi oceanici sono di altissima risoluzione ma, nella maggioranza dei casi, troppo superficiali per gli scopi delle compagnie petrolifere. Tuttavia, sappiamo per certo che in alcune occasioni sono serviti come base per le loro indagini: la scoperta del giacimento di metano Zohr, il più grande del Mediterraneo, è avvenuta in questo modo. Lo stesso potrebbe accadere con gli imponenti giacimenti oceanici di elementi rari come cobalto, cadmio ma anche oro.

**Qual è il futuro dell'esplorazione oceanica?**

Negli ultimi decenni l'industria petrolifera si è spostata progressivamente dall'*offshore* vicino alle acque profonde e quindi al cosiddetto *ultra-deep*, con perforazioni che raggiungono i tre chilometri di profondità dal fondo oceanico. La tecnologia è ormai matura, i limiti ingegneristici e tecnologici sono ben noti. Per quanto riguarda la ricerca scientifica, alcune regioni del globo, e in particolare l'Oceano Pacifico meridionale, troppo distante dalla terraferma, sono tuttora conosciute solo tramite misure indirette. La sostituzione della *JOIDES Resolution* con una nave più veloce potrebbe ridurre notevolmente i tempi di transito e quindi permetterci di raggiungere zone più remote.

Iterchimica sviluppa additivi innovativi da usare in asfalti e tecnologie che abbiano un ridotto impatto ambientale

# Un manto stradale ad alta tecnologia

Quando Gabriele Giannattasio cominciò a pensare a come migliorare l'asfalto per le pavimentazioni stradali di autostrade ce ne erano davvero poche. Era il 1967, l'A1 collegava Milano a Bologna, poi più niente per tutto l'Italia. Eppure le macchine cominciavano a circolare in misura sempre più grande e da lì a poco sarebbero iniziati i lavori per costruire una rete autostradale nazionale.

Gabriele lavorava in un'azienda chimica, maneggiava additivi, sostanze capaci di scatenare reazioni chimiche fra materiali inerti. Da qui l'idea: aggiungere un additivo di adesione per legare il bitume e le pietre e produrre quindi un asfalto più duraturo, perché più resistente all'azione dell'acqua e alle sollecitazioni meccaniche. Nasce così, a Saronno, Iterchimica, azienda specializzata nello sviluppo e produzione di additivi chimici per l'asfalto, che oggi – grazie alla costante innovazione dei suoi prodotti – opera in 90 nazioni e da quattro anni sta sperimentando un asfalto rivoluzionario, a base di grafene. Insomma, la pavimentazione stradale è un settore niente affatto noioso e privo di sfide per chi voglia migliorarne prestazioni, sicurezza ed ecosostenibilità.

Giannattasio era uno di questi, e dopo di lui tutta la sua famiglia, che a diverso titolo si occupa oggi dell'azienda. «Mio padre ha avuto un'intuizione i cui principi fondamentali valgono sostanzialmente anche oggi; tuttavia grazie alla ricerca che abbiamo effettuato siamo riusciti a migliorare sempre di più i nostri prodotti. Anche in risposta alle diverse richieste del mercato», spiega Federica Giannattasio, amministratore delegato dell'azienda che oggi guida insieme ai fratelli Mariella e Alessandro. L'investimento in ricerca è stato una costante nella storia di Iterchimica e attualmente l'azienda è dotata di laboratori all'avanguardia, dove i ricercatori lavorano a stretto contatto con gli impianti produttivi, sviluppando nuove soluzioni oppure mettendo alla prova quelle già prodotte: dieci persone sono al lavoro tutti i giorni per studiare, analizzare e testare bitumi, inerti, emulsioni e conglomerati bituminosi.

## Oltre la strada

Tra i prodotti innovativi portati sul mercato nel corso degli anni ci sono il conglomerato bituminoso a freddo per la manutenzione stradale, i giunti «a tampone» usati dai principali costruttori di autostrade, e sistemi di recupero dell'asfalto. «L'idea del riutilizzo dell'asfalto fresato, cioè quello vecchio grattato dalla strada per i lavori di rifacimento, ci è venuta già vent'anni fa, quando ancora riciclare non era diventata una cosa di cui non si può fare a meno», spiega ancora Giannattasio. «I nostri prodotti rigeneranti riescono



**L'aggiunta di grafene** e di una particolare plastica da riciclo a una miscela bituminosa dimezzerà la manutenzione delle strade.

a modificare la struttura chimica e quella fisica del bitume invecchiato e riducono la rigidità del nuovo conglomerato bituminoso prodotto con il materiale fresato».

L'innovazione va anche oltre il manto stradale. A Iterchimica si deve l'invenzione dei sistemi sintetici per sostituzione, nella costruzione di impianti sportivi, della terra battuta con asfalto sportivo e l'impiego di resine sintetiche. A partire dagli anni ottanta, l'azienda ha costruito diversi stadi, 150 piste di atletica, 300 campi da tennis, strutture polivalenti, palestre e centri sportivi. Ma il grande amore rimane la strada: grazie alla collaborazione con università e centri di ricerca, nel corso degli ultimi vent'anni, l'azienda ha sviluppato additivi antismog e antighiaccio. «In quest'ultimo caso l'aggiunta del nostro prodotto nella miscela dell'asfalto permette di abbassare il punto di congelamento da 0 °C a -7 °C, dando quindi più tempo a chi gestisce le strade per approntare il servizio di prevenzione, per esempio con le macchine spargisale, e aumentando la sicurezza di chi percorre quelle strade», specifica l'amministratore delegato.

Cortesia Iterchimica (*foto in questa pagina e nella pagina a fronte*)

di Letizia Gabaglio

LA SCHEDA - ITERCHIMICA

**Azienda fondata nel 1967**
**Persone di riferimento:** **Gabriele Giannattasio** (vice-presidente esecutivo e fondatore), **Vito Gamberale** (presidente)
**Sito:** https://iterchimica.it/ **Mail:** info@iterchimica.it
**Numero di brevetti:** 3
**Dipendenti-collaboratori:** 60

**Pastiglie** di additivo per asfalto prodotte da Iterchimica. Accanto, laboratori dell'azienda.

Nel caso dell'antismog, invece, il segreto è nell'aggiunta di biossido di titanio alla miscela: quando viene colpito dai raggi solari si innesca un processo di riduzione degli inquinanti paragonabile alla fotosintesi. Il risultato, testato in un parcheggio di Lainate, vicino a Milano, è la trasformazione della pavimentazione in una sorta di reattore antismog.

### Un materiale ultraresistente

Negli ultimi mesi, però, c'è un prodotto Iterchimica che sta suscitando grande interesse: una miscela bituminosa che contiene una particolare plastica da riciclo e grafene, grazie alla quale, questa la sfida della famiglia Giannattasio, le strade saranno perpetue, o almeno richiederanno una manutenzione dimezzata rispetto alla media attuale, passando da 7 a 14 anni. Un bel risparmio per chi è chiamato a dover assicurare la percorribilità e la sicurezza delle strade.

«Per realizzare questo progetto abbiamo lavorato con Directa Plus, azienda italiana leader nella produzione di grafene, e con diversi centri di ricerca, G.Eco del Gruppo A2A e l'Università degli Studi di Milano-Bicocca. È stata un percorso lungo che ha portato però a un risultato di cui andiamo molto orgogliosi», sottolinea Giannattasio. «La ricerca è durata tre anni e ora, da un anno e mezzo, stiamo facendo le prove su strada. Abbiamo iniziato a Roma e poche settimane fa abbiamo posato la nostra miscela bituminosa al grafene sulla strada provinciale 35 Milano-Meda, a cui seguirà anche una parte della strada provinciale 40 per Lacchiarella, sempre vicino Milano».

I test hanno dato tutti risultati in linea con le aspettative, se non addirittura migliori in termini di resistenza. Il grafene è un materiale ultraresistente che però ha un costo molto elevato: la sfida quindi era trovare la giusta dose che conferisse resistenza senza incidere troppo sul prezzo. La miscela – che è oggetto di brevetto – è anche *eco-friendly*: non solo allunga la vita della pavimentazione ma è composta da plastiche dure che di solito non sono riciclate. «Si tratta di materiale che sarebbe destinato al termovalorizzatore e che noi riusciamo a usare recuperandolo al 60 per cento», dice con orgoglio l'imprenditrice.

Insomma, non c'è da stupirsi se gli affari di Iterchimica, che oggi ha la sua sede principale a Suisio, in provincia di Bergamo, vanno a gonfie vele e se le commesse piovono letteralmente da tutte le parti del mondo. Soprattutto da paesi in cui le condizioni climatiche sono estreme e la pavimentazione stradale è molto sollecitata. Come il Qatar, dove l'azienda italiana ha realizzato la pista dell'aeroporto di Doha, o l'Algeria, dove grazie agli additivi *made in Italy* è stato realizzato il raddoppio della strada nazionale RN1 in un tratto desertico e con grandi sbalzi termici notturni. Risultati che nel 1967 erano quasi inimmaginabili.

di Piergiorgio Odifreddi

professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e *visiting professor* alla Cornell University di Ithaca (New York)

# Breve storia del pallone

Dagli antichi Greci a un portiere della Danimarca, come è nata la forma della quasi sfera più inseguita al mondo

Nel *Fedone* (110b) Platone scriveva: «Se la Terra si guardasse dall'alto, avrebbe lo stesso aspetto delle palle di cuoio fatte di dodici facce, variopinte e distinte da colori vivaci, rispetto ai quali i colori usati quaggiù dai nostri pittori appaiono sbiaditi». Un filosofo sarebbe interessato al seguito del racconto, nel quale viene elaborato un mito escatologico sul destino delle anime nell'aldilà, ma un matematico è invece distratto dalla menzione della forma dodecaedrica del pallone da calcio.

## Il criterio della rotolabilità

Ovviamente, anche i Greci sapevano che la forma ottimale del pallone è quella sferica, ma la tecnologia dell'epoca non consentiva di costruire palle di gomma gonfiabili che la realizzassero. La soluzione che essi adottarono fu di approssimare la sfera mediante un poliedro, che si poteva costruire cucendo insieme pezze poligonali della stessa forma. Ai tempi di Platone si conoscevano già i cinque solidi regolari, dei quali egli stesso parla nel *Timeo*, e si trattava di scegliere la miglior approssimazione. Ora, le palle tetraedriche, cubiche o ottaedriche erano ovviamente da scartare, ma la scelta tra la palla dodecaedrica o icosaedrica non era così immediata.

Dal punto di vista dei vertici, infatti, nel dodecaedro la somma degli angoli delle facce è di 324 gradi, e nell'icosaedro di 300. Dal punto di vista degli spigoli, invece, nel dodecaedro l'angolo tra due facce adiacenti è di circa 117 gradi, e nell'icosaedro di circa 138. In altre parole, il dodecaedro si calcia meglio sui vertici, perché l'angolo è più vicino a 360 gradi, e l'icosaedro si calcia meglio sugli spigoli, perché l'angolo è più vicino a 180 gradi.

Dal punto di vista della sfericità, infine, il volume del dodecaedro è circa il 67 per cento della sfera circoscritta e il 133 per cento della sfera inscritta. Il volume dell'icosaedro, invece, è circa il 61 per cento della sfera circoscritta e il 121 per cento della sfera inscritta. Cioè, il dodecaedro approssima meglio la sfera circoscritta, e l'icosaedro quella inscritta. Ma poiché ai fini della rotolabilità sul terreno è l'approssimazione alla sfera circoscritta che conta, il dodecaedro è un miglior pallone dell'icosaedro, a conferma della scelta effettuata dai Greci e testimoniata da Platone.

Sembra che il primo a confermare la bontà della scelta con i calcoli appena riportati sia stato Apollonio, il quale notò anche che il rapporto fra i citati volumi del dodecaedro e dell'icosaedro inscritti in una stessa sfera, pari a circa 1,098, è anche uguale al rapporto fra le loro superfici. Questi risultati sono riportati nell'apocrifo Libro xiv degli *Elementi* di Euclide, in realtà attribuito a Ipsicle e ispirato appunto ai risultati di Apollonio.

Nel frattempo un grande balzo in avanti era stato compiuto da Archimede con la scoperta dei 13 solidi semiregolari, molti dei quali ottenuti tagliando variamente gli spigoli ai cinque regolari o ad altri semiregolari. Benché sia solo il quarto in ordine di approssimazione della sfericità, quello ottimale dal punto di vista della semplicità risulta essere l'icosaedro troncato, con 12 facce pentagonali e 20 triangolari: il suo volume è circa l'87 per cento della sfera circoscritta, ed è inferiore al primo della lista soltanto del 3 per cento.

## Colpo di testa

Non stupisce che l'icosaedro troncato venga dunque adottato come forma del pallone da calcio. Ma stupisce che a proporlo non sia stato un matematico, bensì un calciatore: il portiere danese Eigil Nielsen, vincitore del bronzo alle Olimpiadi di Londra del 1948, che lavorava in una fabbrica di scarpe di pelle.

Nel 1951, con un colpo di testa letteralmente degno di Archimede, Nielsen inventò il pallone a icosaedro troncato, che fu subito adottato, prima in Danimarca, dove il portiere giocava, e poi nel mondo intero.

di Elena Castellani

professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze



# Verità e «prospettivismo»

La ragionevole efficacia dell'integrazione di prospettive nella scienza

Di verità in relazione alla scienza si può discutere in molti modi, ma una domanda centrale è: le teorie scientifiche di successo ci offrono un resoconto veritiero della realtà? Ci si chiede, in sostanza, se la rappresentazione che le teorie ci danno del mondo (cioè la sua «immagine scientifica») corrisponda a come il mondo è fatto davvero.

La questione è molto discussa nella filosofia della scienza, dato che mette in gioco sia la natura e i limiti della conoscenza scientifica, sia il valore e lo scopo che le vengono attribuiti. Le posizioni al riguardo sono diverse, con oscillazioni che vanno da un puro strumentalismo, secondo cui le teorie non sono considerate né vere né false perché semplici strumenti per ordinare e prevedere i fenomeni, a un convinto realismo, che non solo s'impegna sulla verità delle teorie di successo, ma identifica nel carattere veritiero delle teorie la migliore spiegazione del loro successo. Tra questi due estremi si collocano posizioni di vario tipo, a seconda del rilievo dato alla nozione di verità nella scienza e della funzione che le viene attribuita.

## Antirealismo e relativismo

Ultimamente, tra queste posizioni intermedie sta suscitando particolare interesse una nuova forma di «prospettivismo», che prende il nome di «realismo prospettico». L'idea di base del prospettivismo in generale – non nuova di per sé – è che non ci sia una verità sul mondo unica e indipendente dall'attività umana: nel considerare la conoscenza scientifica e il suo valore di verità non si può prescindere dal punto di vista adottato (cioè dalla prospettiva). In altre parole, si riconosce l'importanza del carattere «situato» o dipendente dal contesto della conoscenza scientifica, da un punto di vista storico e da un punto di vista culturale.

Un famoso esempio di prospettivismo è quello sostenuto da Thomas Kuhn: nella sua proposta epistemologica, le prospettive assumono il significato di «paradigmi», da cui dipendono interamente le verità scientifiche. Per esempio, per una persona situata in un sistema del mondo (paradigma) tolemaico erano veri enunciati come quelli relativi alla rotazione del Sole attorno alla Terra, che invece non sarebbero più risultati veri per una persona immersa in un sistema del mondo (paradigma) copernicano. Ma il prospettivismo non deve implicare per forza una presa di posizione antirealista, come succede in Kuhn. Per il realismo prospettico, l'apparente «relativizzazione» della verità alle prospettive può essere appunto coniugata con una forma di realismo.

La questione che si pone è come questo possa essere realizzato. In particolare, si tratta d'individuare un criterio per integrare le diverse prospettive in modo fruttuoso, rendendo così la loro inevitabile pluralità una risorsa invece che un problema. Una via può essere quella d'intendere le prospettive come immagini parziali, complementari, da unificare in un'immagine complessiva che diventi sempre più coerente nel corso del progresso scientifico: come nel caso, per esempio, delle prospettive dell'idrodinamica e della meccanica statistica per descrivere le proprietà di un fluido.

## Integrazioni difficili

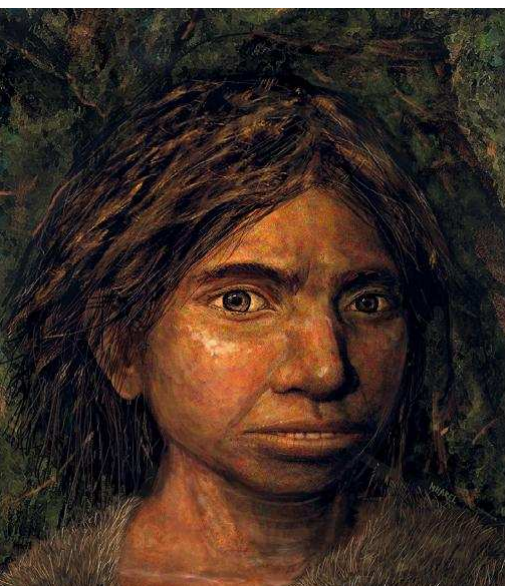
Se e come questo compromesso tra prospettivismo e realismo possa essere raggiunto dipende sensibilmente da che cosa si consideri una «prospettiva scientifica» (è difficile, per esempio, pensare d'integrare visioni del mondo come quelle tolemaica e copernicana in un sistema unitario) e dalle articolazioni che danno alla posizione di realismo prospettico i filosofi della scienza che la difendono.

Tra questi, si distinguono in particolare Ron Giere, Paul Teller, e, soprattutto, Michela Massimi, che sul tema ha ottenuto un importante finanziamento della Comunità Europea con un progetto dal titolo Perspectival Realism. Science, Knowledge, and Truth from a Human Vantage Point.

di Giorgio Manzi

ordinario di paleoantropologia alla Sapienza Università di Roma;
socio corrispondente dell'Accademia Nazionale dei Lincei

# Una faccia per Denisova

L'analisi del genoma di questa umanità estinta ha portato alla ricostruzione di un volto

**Gioventù da Denisova.** Ritratto di una giovane denisoviana basato sul profilo scheletrico ricostruito in base alle mappe di metilazione del DNA di questa varietà umana estinta, contemporanea dei Neanderthal e delle popolazioni di *Homo sapiens* che si diffondevano in Eurasia.

Per quanto la notizia sia stata diffusa sui mezzi di comunicazione verso fine settembre, dopo la pubblicazione su «Cell» dell'articolo a firma di ricercatori israeliani e spagnoli intitolato *Reconstructing Denisovan anatomy using DNA methylation maps*, penso sia il caso di tornarci su. A mio parere, si tratta di un risultato sensazionale. Hanno tradotto dati epigenetici in morfologia; e ancora: hanno applicato questa procedura alla ricostruzione del volto (e non solo del volto) di un'umanità estinta per cui non abbiamo sufficienti reperti fossili, i denisoviani, ma ne sappiamo parecchio sul loro DNA.

Come avrebbero potuto apparire i denisoviani può essere al momento solo ipotizzato, poiché il campione di resti scheletrici riferibili a questa varietà di uomini del tardo Pleistocene – contemporanei dei Neanderthal e delle popolazioni di *Homo sapiens* che si diffondevano in Eurasia – è davvero modesto, quasi assente. Include la celebre porzione di falangetta di un mignolo, tre denti isolati, una nuova mandibola scoperta in Tibet e alcuni frammenti d'osso: questo è tutto. Personalmente ritengo che i denisoviani altro non fossero che l'evoluzione di *Homo heidelbergensis* in Asia continentale – ne abbiamo alcuni reperti fossili in Cina, per esempio (Dali e Jinniushan, fra gli altri) – e penso anche che il cranio parziale di Maba, sempre in Cina, e i due crani frammentari scoperti nel sito di Lingjing, ancora in Cina, descritti nel 2017, possano essere riferiti ai denisoviani. Ma per ora sono congetture.

## Mappe di attività genica

Altra cosa è risalire alla loro morfologia del cranio e del resto dello scheletro sulla base del genoma, come hanno fatto i colleghi israeliani e spagnoli. Sensazionale davvero.

Detto in breve, hanno studiato per tre anni le mappe di metilazione. Com'è noto, la metilazione del DNA si riferisce a modifiche chimiche che influenzano l'attività dei geni (senza influire direttamente sulla sequenza del DNA). Dato che ormai iniziamo a conoscere le mappe di metilazione nei Neanderthal e nei denisoviani, oltre che in *Homo sapiens*, i ricercatori hanno prima confrontato i profili di metilazione tra i tre gruppi umani per trovare regioni del genoma attivate in modo differente. Hanno poi cercato di capire come queste differenze possano influenzare le caratteristiche anatomiche, partendo da quanto è noto su disturbi umani in cui determinati geni perdono la loro funzione per altre cause.

## Una qualche affinità

Gli autori sono dunque potuti risalire a quali elementi anatomici vengono influenzati dalla regolazione differenziale di ciascun gene e in quale direzione, portando un certo osso a essere più lungo o più corto, più largo o più stretto. Hanno poi verificato le loro predizioni – e questo è il passaggio decisivo e, secondo me, più convincente – confrontandole con i dati reali dei Neanderthal e anche con quelli degli scimpanzé. Hanno così ottenuto un'affidabilità del metodo di circa l'85 per cento, che dimostra che le loro ricostruzioni erano sufficientemente accurate nel prevedere le caratteristiche prese in esame.

Infine, hanno applicato questo metodo ai denisoviani e sono stati in grado di produrne un profilo morfologico del tutto inedito, dal quale risulta che erano un po' simili ai Neanderthal, con qualche affinità con noi e alcuni caratteri peculiari. Nello specifico, hanno identificato 56 tratti anatomici (34 nel cranio) in cui i denisoviani differivano da noi e/o dai Neanderthal. Per fare qualche esempio, il loro cranio doveva essere decisamente largo, l'arcata dentaria allungata (come ha indipendentemente mostrato la nuova mandibola rinvenuta in Tibet), mentre le ossa facciali ed elementi del tronco e degli arti mostravano proporzioni intermedie.

Non ho altre parole: sensazionale!

di Amedeo Balbi

professore associato di astronomia e astrofisica
al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata



# Le ragioni di un premio

Il Nobel per la fisica di quest'anno rappresenta una sintesi dell'intero percorso dell'astronomia moderna

All'apparenza, non potrebbero esserci due campi dell'astrofisica più lontani tra loro come quelli premiati quest'anno con il Nobel per la fisica, ovvero la cosmologia e la ricerca di pianeti extrasolari. Può sembrare una scelta insolita, ma personalmente la trovo molto giusta. È un premio agli ultimi cinque decenni di progressi nella nostra comprensione dell'universo su grande scala e, allo stesso tempo, del posto che il nostro pianeta occupa nel cosmo: in un certo senso, una sintesi dell'intero percorso dell'astronomia moderna.

## Un'intera carriera

Quello a Jim Peebles è il premio a una carriera. Non credo ci siano molti studiosi che abbiano dato un contribuito personale più grande del suo al progresso teorico in cosmologia. Basterebbe questo: a metà degli anni sessanta, Peebles faceva parte del gruppo di giovani di Princeton che, sotto la guida di Robert Dicke, cercava le tracce della fase calda e densa dell'universo primordiale. Peebles era il brillante teorico che aveva sviluppato i calcoli del segnale radio previsto, a quanto pare, ignorando l'esistenza dei primi studi sulla questione, compiuti negli anni quaranta da Ralph Alpher, Robert Herman e George Gamow.

Quando Arno Penzias e Robert Wilson, involontariamente, captarono quella che fu poi identificata come la radiazione cosmica a microonde (il residuo, appunto, della fase calda iniziale dell'universo), fu proprio il gruppo di Princeton a fornire l'interpretazione corretta della misurazione. Tuttavia, nonostante la pubblicazione simultanea dello studio sperimentale di Penzias e Wilson, e di quello teorico di Dicke, Peebles, Roll e Wilkinson, furono solo i primi due a ricevere il Nobel, nel 1978.

Tra i molti altri contributi di Peebles all'astrofisica teorica c'è l'aver messo in piedi l'armamentario fisico e matematico che ha portato alla previsione delle fluttuazioni di temperatura nella radiazione cosmica di fondo (rilevate negli anni novanta dal satellite COBE: altro Nobel, nel 2006) e la comprensione dei meccanismi per cui, a partire da quei semi primordiali, si è formata la struttura su grande scala dell'universo. È anche grazie ai calcoli di Peebles se oggi conosciamo con straordinaria precisione i parametri che descrivono il cosmo e la sua evoluzione.

## L'inizio di un'era

Altrettanto meritato è il premio a Michel Mayor e Didier Queloz. Nel 1995 (proprio negli anni in cui lo studio della radiazione cosmica di fondo accelerava a seguito dei risultati di COBE) i due astronomi scoprivano il primo pianeta extrasolare in orbita attorno a una stella simile al Sole.

Fu un risultato per molti versi inatteso: il pianeta scoperto da Mayor e Queloz attorno alla stella 51 Pegasi era del tutto diverso da quelli che conoscevamo nel nostro sistema solare. Un pianeta gigantesco, simile a Giove, ma in orbita strettissima attorno al suo astro. Una cosa del genere, secondo i modelli teorici, non doveva esistere. La scoperta di quella che fu poi riconosciuta come una nuova classe di pianeti – ribattezzati, appunto, «Giove caldi» – fu dunque uno scossone a quello che credevamo di sapere sull'abbondanza e sul tipo di pianeti esistenti nell'universo. Ma fu anche l'inizio dell'era degli esopianeti, e di un cammino che ci porterà a capire se i mondi come il nostro siano frequenti o no.

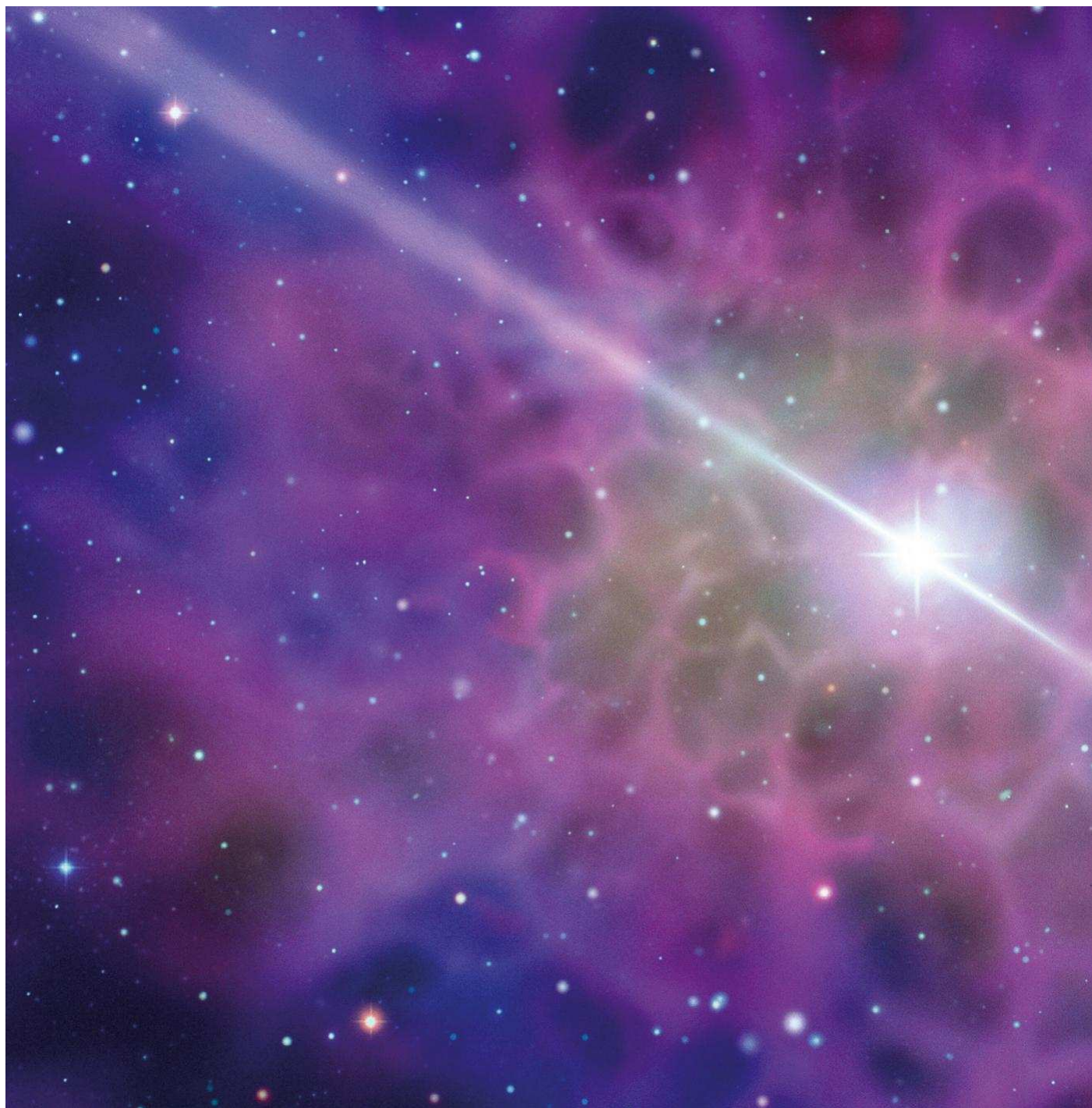
Mi sembra bello, dunque, e del tutto appropriato, che l'Accademia reale delle scienze di Svezia abbia accomunato la prospettiva cosmica con quella locale: l'universo che si espande e che conserva le tracce della sua origine, e che in quelle tracce ci mostra i semi da cui è emersa la straordinaria varietà e complessità dei mondi che lo popolano. Da uno di quei mondi, oggi, guardiamo il cielo, per scoprire chi siamo.

**Uno sguardo all'insù.** Anche grazie alle scoperte premiate con il Nobel per la fisica di quest'anno oggi sappiamo come l'universo è nato e si sta espandendo, e sappiamo anche che la nostra galassia, la Via Lattea, è ricca di pianeti in orbita ad altre stelle oltre al nostro Sole.

European Southern Observatory/SPL/AGF

ASTROFISICA

# La stella di neutroni più massiccia

Scoperta una pulsar con una massa vicina al limite teorico per queste stelle

SPL/AGF

**Faro spaziale**

Le pulsar sono stelle di neutroni che ruotano vorticosamente su se stesse emettendo onde radio lungo direzioni ben precise, in modo simile alle emissioni luminose dei fari.

**Una stella, quando collassa su se stessa** al termine del suo percorso evolutivo, può diventare una nana bianca, una stella di neutroni o un buco nero, a seconda della massa del nucleo collassante. È questa massa a determinare se la pressione della materia è in grado o meno di resistere alla spinta contrattiva della forza di gravità. Le condizioni fisiche in cui una stella collassata può raggiungere l'equilibrio fra queste due forze contrastanti sono definite dalla cosiddetta equazione di stato. Il primo a calcolare il limite di massa di una nana bianca, nel 1931, fu Subrahmanyan Chandrasekhar, che lo fissò a circa 1,44 masse solari. Questo significa che nessuna nana bianca può avere una massa superiore a questo valore, che è chiamato «limite di Chandrasekhar». Nel 1939, riprendendo un lavoro di Richard Tolman, Robert Oppenheimer e George Volkoff determinarono il limite di massa delle stelle di neutroni, che oggi è attestato fra 1,5 e 3 masse solari, con la forbice dovuta proprio alla incertezza con cui è nota l'equazione di stato della materia all'interno di questi astri estremamente densi e compatti.

Adesso, la scoperta di una stella di neutroni con la massa record di 2,14 masse solari pone un nuovo vincolo alla massa limite di queste stelle, nota come «limite di Tolman-Volkoff-Oppenheimer», superato il quale si entra – forse – nel dominio dei buchi neri. La scoperta, opera di un gruppo di ricerca guidato da Hannah Thankful Cromartie, dell'Università della Virginia a Charlottesville, e pubblicata su «Nature Astronomy», riguarda il sistema binario J0740+6620, composto da una nana bianca e da una stella di neutroni. Quest'ultima è una pulsar con un periodo di rotazione su se stessa di 2,89 millisecondi. Tuttavia, la radiazione elettromagnetica emessa da questa pulsar durante la sua vorticosa rotazione sul proprio asse, in modo simile a un faro, talvolta arriva con un certo ritardo, con una periodicità di 4,78 giorni, pari al periodo di rivoluzione del sistema. In pratica, i passaggi periodici della nana bianca davanti alla pulsar alterano la curvatura dello spazio-tempo, allungando il percorso della radiazione. Questo fenomeno, conosciuto come «ritardo relativistico di Shapiro», dal nome dell'astrofisico che lo calcolò per primo, nel 1964, permette di determinare con estrema precisione le masse delle stelle in gioco.

Misurando questi ritardi, Cromartie e colleghi hanno aggiunto un importante tassello per capire quale sia lo stato della materia in condizioni estreme di densità e pressione come nelle stelle di neutroni. Una massa così elevata, forse quasi al limite teorico, implica una maggiore «rigidità» della materia nella stella. Con esiti ancora tutti da scoprire su come si formano ed evolvono queste stelle, per esempio quando vanno incontro a una fusione.

*Emiliano Ricci*

NOBEL

# L'illusione delle donne

I premi di quest'anno segnano un passo indietro sulla questione di genere

**Nove uomini su nove medaglie assegnate.** Zero donne. Eppure lo scorso anno il Nobel per la fisica a Donna Strickland e per la chimica a Frances Arnold erano stati accolti in modo positivo anche perché lasciavano sperare che a Stoccolma la questione di genere nella scienza fosse ormai sotto attenta osservazione. Addirittura, qualche giorno prima delle assegnazioni di quest'anno, in un'intervista a «Nature» Göran Hansson, segretario generale dell'Accademia reale delle scienze di Svezia, responsabile per i Nobel in fisica e chimica, e già segretario del comitato per il Nobel per la medicina o la fisiologia, aveva rassicurato i lettori: la procedura per la nomina dei candidati è stata modificata per cercare di contrastare lo squilibrio di genere e anche quello tra gruppi etnici.

Scorrendo la lista dei premiati del 2019 è fin troppo evidente che la speranza nata con i Nobel del 2018, e con la modifica della procedura delle nomine, è stata vana. Forse però non tutti i problemi sono a Stoccolma. Nel nostro piccolo angolo di mondo, in Europa, le carriere scientifiche sono ancora una cosa da maschi in misura inaccettabile. In paesi meno ricchi la realtà è addirittura peggiore. I problemi iniziano con l'accesso delle bambine all'istruzione primaria. Inoltre fare scienza, ha ricordato Hansson, richiede investimenti e stabilità. Sono due opzioni non sempre disponibili in molti paesi del mondo, e di fatto questa carenza taglia fuori scienziati di molti gruppi etnici da un percorso che potrebbe portarli ai massimi livelli. Se è giusto guardare a Stoccolma e chiedere di più, perché i premiati con il Nobel diventano modelli per i più giovani, è anche giusto allargare lo sguardo a quello che abbiamo attorno e chiederci come possiamo cambiare lo stato dei fatti.

*La redazione*

## Pionieri del cosmo e dei mondi alieni

Grande è il cuore dell'Accademia reale delle scienze di Svezia, come dimostra il Nobel per la fisica assegnato a James Peebles.
Il cosmologo della Yale University ha ricevuto il riconoscimento per «le sue scoperte teoriche nella cosmologia fisica». In effetti, nella galleria dei Nobel della fisica ci sono premiati che probabilmente non sarebbero arrivati a uno dei massimi traguardi ambiti da chi di professione fa lo scienziato se non fosse stato per il lavoro portato avanti da Peebles dalla metà degli anni sessanta alla metà degli anni ottanta. Anche grazie al quadro teorico sviluppato dal cosmologo di Yale oggi sappiamo che la radiazione cosmica di fondo a microonde è il residuo fossile del big bang da cui è nato l'universo, e sappiamo che l'universo è composto per la quasi totalità da materia oscura, una forma di materia che non interagisce con la radiazione elettromagnetica e quindi è impossibile da rilevare con i telescopi, e da energia oscura, una forma di energia responsabile dell'espansione accelerata del cosmo. La materia ordinaria, che compone le galassie come anche gli esseri umani, non è altro che una comparsa del palcoscenico cosmico. Tra l'altro, poiché la natura di materia ed energia oscure è ancora misteriosa, non è improbabile che in futuro altri Nobel dovranno ringraziare Peebles.
L'accademia ha premiato anche Michel Mayor e Didier Queloz, due astronomi dell'Università di Ginevra, per «la scoperta di un esopianeta in orbita attorno a una stella di tipo solare».
Nel 1995 i due hanno annunciato la rilevazione di un pianeta in orbita attorno alla stella 51 Pegasi, a 50 anni luce dalla Terra. Oggi sono circa 4000 gli esopianeti noti nella nostra galassia, da giganti gassosi simili a Giove a pianeti rocciosi simili al nostro.
Forse però qualcuno masticherà amaro. Nel 1992 Alexander Wolszczan della Pennsylvania State University e Dale A. Frail del National Radio Astronomy Observatory avevano annunciato la scoperta di esopianeti in orbita attorno a una stella di neutroni lontana 2300 anni luce dalla Terra. Di fatto la prima rilevazione di pianeti al di fuori del sistema solare, confermata negli anni successivi. Ma Wolszczan e Dale non riceveranno medaglie da Stoccolma.

*Giovanni Spataro*

**L'annuncio** dei tre Nobel per la fisica del 2019; quello a James Peebles, cosmologo della Yale University, sembra un più che meritato riconoscimento alla carriera.

Jonathan Nackstrand/Getty Images

## Il senso delle cellule per l’ossigeno

La vita è anche una questione di ossigeno, ma il modo in cui le cellule rilevano le variazioni di questa molecola biatomica ($O_2$) e si regolano di conseguenza è stato per lungo tempo un mistero. La soluzione è stata trovata tra gli inizi degli anni novanta e il 2001 dai tre Nobel per la medicina o la fisiologia di quest’anno, William G. Kaelin Jr, Sir Peter J. Ratcliffe e Gregg L. Semenza, premiati dal Karolinska Institut per «le loro scoperte su come le cellule percepiscono e si adattano alla disponibilità di ossigeno». Un ruolo fondamentale in questo ciclo di azione e retroazione è giocato dall’eritropoietina, o EPO. Questo ormone, noto anche per scandali sportivi legati al doping, regola la produzione di globuli rossi, i vettori di ossigeno nel sangue.
Semenza e Ratcliffe hanno studiato il gene *EPO*, scoprendo che è espresso di fatto in tutte le cellule del corpo, e la sua regolazione in funzione dei livelli di ossigeno; in più Semenza ha osservato che in condizioni di scarsa concentrazione di ossigeno, o ipossia, la risposta del gene è mediata da tratti di DNA vicino al gene stesso. Questo microscopico circuito è attivato da un complesso chiamato HIF, a sua volta composto da due strutture proteiche indicate con le sigle HIF-$1\alpha$ e ARNT, in grado di legarsi in modo specifico ai tratti di DNA vicini a *EPO* per promuoverne l’attività e quindi incentivare la produzione dell’ormone con tutti gli effetti a cascata che ne conseguono. In particolare, in condizioni di ipossia la concentrazione cellulare di HIF-$1\alpha$ è elevata, mentre diminuisce con l’aumentare dell’ossigeno.
Ma come fa la cellula a variare i livelli di HIF-$1\alpha$ in funzione di $O_2$? Qui entra in gioco un altro gene, *VHL*, e relativa proteina che come ha scoperto Kaeilin sono coinvolti nelle risposte all’ipossia. Quando le concentrazioni di ossigeno sono normali, HIF-$1\alpha$ acquisisce una sorta di etichetta biochimica riconosciuta da VHL e questo riconoscimento innesca un processo di degradazione di HIF-$1\alpha$. Ovviamente questo non vale in scarse condizioni di ossigeno, così il ciclo è chiuso.

*Giovanni Spataro*

**I tre Nobel** Semenza della Johns Hopkins University, Sir Ratcliffe dell’Università di Oxford, Kaelin Jr della Harvard Medical School.

## Un mondo di ricarica

I momenti di crisi sono anche opportunità, per esempio come agli inizi degli anni settanta, quando gli eventi geopolitici in Medio Oriente portarono a una crescita drammatica del prezzo del greggio innescando quella che poi è passata alla storia come «crisi petrolifera». In quel periodo Stanley Whittingham, della statunitense Binghamton University, iniziò a lavorare allo sviluppo di tecnologie energetiche svincolate dai combustibili fossili. Si concentrò sulle potenzialità del litio, un elemento chimico a cui è facile strappare un elettrone per generare una corrente elettrica. E trovò il posto giusto per questo elemento in un prototipo di batteria che aveva in mente. Il litio in forma ionizzata era inserito negli spazi di un reticolo di titanio disolfuro che componeva il catodo; l’altro polo, l’anodo, era costituito in parte da lito metallico, dunque non ionizzato. La batteria così costruita aveva un potenziale di poco più di due volt. Ma c’era un problema. Il litio metallico è anche molto reattivo e la pila di Witthingham esplodeva troppo spesso per essere una soluzione tecnologica praticabile.
Qualche anno dopo, nel 1980, John Goodenough dell’Università del Texas ad Austin raddoppiò la potenza della batteria, portandola a quattro volt grazie alla sostituzione del titanio disolfuro del catodo con ossido di cobalto. Ma rimaneva sempre il problema delle esplosioni.
La soluzione venne trovata da Akira Yoshino, della Meijo University di Nagoya, il quale nell’anodo sostituì il litio metallico con un materiale a base di carbonio, in grado di ospitare ioni litio, Nel 1985 Yoshino creò la prima batteria commerciale a ioni litio. Oggi queste batterie ricaricabili sono diffuse in ogni angolo del mondo in smartphone, computer portatili e veicoli elettrici. Anche a Stoccolma, dove Whittingham, Goodenough e Yoshino andranno per ricevere dall’Accademia reale delle scienze di Svezia la medaglia del premio Nobel per la chimica.

*Giovanni Spataro*

**Il premio per la chimica** è stato assegnato ai tre scienziati che hanno sviluppato le batterie a ioni litio tra gli anni settanta e ottanta.

Jonathan Nackstrand/Getty Images (*premio Nobel per la medicina o la fisiologia*)
Naina Helen Jama/TT News Agency/Getty Images (*premio Nobel per la chimica*)

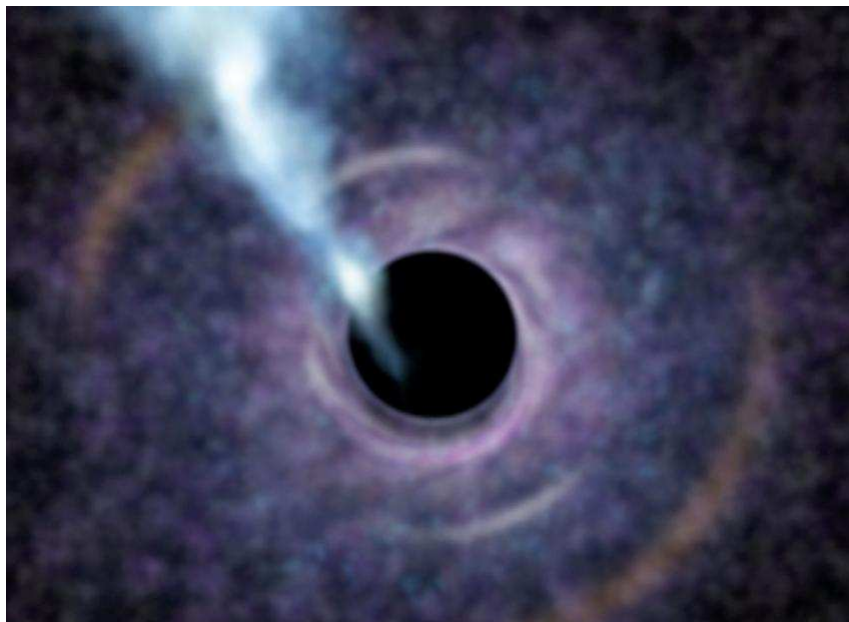
ASTROFISICA

# I buchi neri non hanno capelli

Tre grandezze osservabili sono sufficienti per descrivere questi oggetti celesti

**Nel 1967, il fisico Werner Israel** dimostrò che un buco nero statico, non in rotazione, poteva essere descritto con un solo parametro: la sua massa. Il risultato, pubblicato su «Physical Review», venne esteso negli anni successivi anche ai buchi neri rotanti e dotati di carica elettrica, portando a quello che oggi è noto con il nome di «teorema *no-hair*», o «teorema dell'essenzialità». Un buco nero è caratterizzato solo da tre grandezze macroscopiche esterne ed osservabili: massa, momento angolare intrinseco (spin) e carica elettrica. Il fatto che non sia necessario nessun altro dettaglio portò il fisico John Archibald Wheeler ad affermare che i buchi neri non hanno capelli (*hair* in inglese, da cui l'espressione no-hair).

Nonostante i notevoli sforzi teorici, non esiste ancora una dimostrazione matematica rigorosa e generale del teorema, che resta pertanto una congettura. Tuttavia, negli ultimi anni, grazie alla rilevazione diretta di onde gravitazionali, gli astrofisici hanno potuto iniziare a studiare modi per verificarlo sperimentalmente.

È quanto ha fatto il gruppo guidato da Maximiliano Isi, del Massachusetts Institute of Technology, che ha pubblicato uno studio su «Physical Review Letters». Isi e colleghi hanno analizzato lo spettro del segnale della prima onda gravitazionale rilevata, GW150914, scoprendo che è composto da un tono principale e da toni a frequenze superiori (ipertoni), molto più deboli, ma comunque evidenziabili grazie al confronto con simulazioni numeriche.

Proprio forma e intensità di questi toni ha permesso agli autori di affermare che il buco nero risultante dalla fusione dei due buchi neri originali non ha capelli, ovvero che può essere descritto solo da massa e spin (i buchi neri osservati sono tutti privi di carica elettrica). Ma si aspettano future osservazioni per produrre risultati più stringenti.

*Emiliano Ricci*

## Il protone si è ristretto: una nuova conferma

Il protone è davvero più piccolo di quanto si credeva fino a pochi anni fa. La conferma – che sembra mettere la parola fine a un dibattito durato quasi un decennio – arriva da uno studio pubblicato su «Science» da un gruppo di ricercatori dell'Università di York e dell'Università di Toronto, guidati da Eric Hessels.

Gli scienziati hanno misurato con grande precisione il raggio del protone, trovando un valore di circa 0,833 femtometri (poco meno di un millesimo di miliardesimo di millimetro), ossia del cinque per cento inferiore rispetto al valore generalmente accettato fino al 2010, quando una misurazione effettuata al Paul Scherrer Institute, in Svizzera, il cui risultato era molto simile a quello ottenuto nell'ultimo studio, aveva dato inizio al dibattito.

Tipicamente il raggio del protone può essere misurato tramite due tecniche principali. La prima è di natura spettroscopica: si misurano i livelli energetici degli elettroni di un atomo (di solito un atomo di idrogeno, composto da un elettrone e un protone), i cui valori dipendono dalle dimensioni del nucleo dell'atomo stesso. In alternativa, si bombardano atomi di idrogeno con elettroni, studiandone il rimbalzo. La tecnica usata nel 2010 era basata sulla spettroscopia, ma con un elemento innovativo: è stata la prima a usare idrogeno muonico prodotto in laboratorio, in cui l'elettrone è sostituito da un muone, particella molto simile all'elettrone ma più pesante.

Inizialmente molti fisici avevano ipotizzato che l'uso di idrogeno muonico avesse per qualche ragione influenzato la misura, ma un esperimento del 2017 basato su idrogeno ordinario ha confermato il risultato del 2010. Ora il nuovo studio di Hessels e colleghi sembra mettere il punto finale alla vicenda. I ricercatori hanno impiegato ben otto anni per realizzare un esperimento di alta precisione (basato su una tecnica sviluppata *ad hoc*) usando idrogeno ordinario, e ottenendo un'altra solida conferma: il valore del raggio del protone è in linea con quello misurato negli esperimenti più recenti.

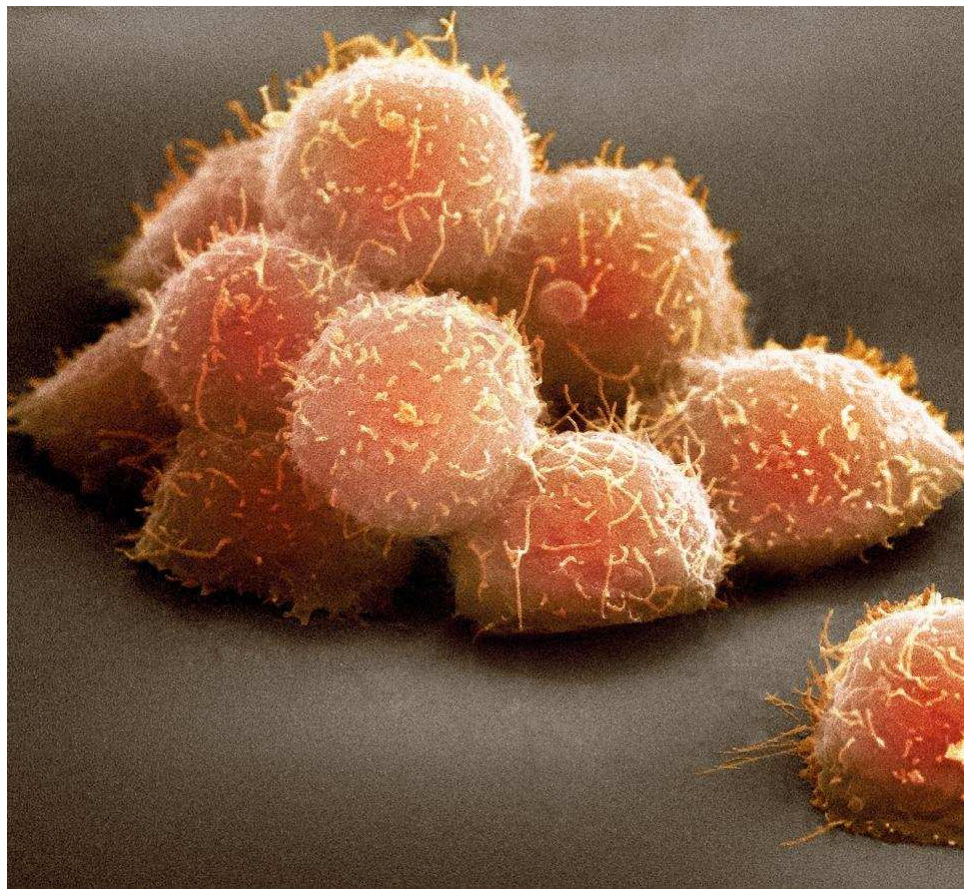
*Matteo Serra*

SPL/AGF (*buco nero*)

BIOLOGIA DELLO SVILUPPO

# Modelli di embrione che fanno discutere

Creati per scopi di ricerca a partire da staminali umane, sollevano problemi etici

SPL/AGF (*staminali*)

**Simil-embrioni umani** ricavati da staminali somigliano molto a quelli veri. Forse anche troppo. Li presenta su «Nature» Jianping Fu, dell'Università del Michigan ad Ann Arbor.

Già qualche anno fa Fu aveva ricavato rudimenti di embrioni umani sia da staminali embrionali sia da cellule adulte riprogrammate per diventare anch'esse capaci di formare qualsiasi tessuto. Ma la procedura funzionava male e dava rese molto scarse, per cui era inservibile per produrre embrioni utili alla ricerca.

Ora Fu ha ideato una nuova tecnica di coltura, con un dispositivo per fare arrivare alle cellule i segnali biochimici che ne guidano lo sviluppo (i fattori di crescita) in una successione di tempi e dosaggi perfettamente controllata. Così è riuscito a orientarne con precisione lo sviluppo facendole diventare embrioni rudimentali, che per la prima volta sviluppano abbozzi di cellule riproduttive e ricapitolano diverse altre tappe della crescita embrionale iniziale. La procedura è inoltre affidabile, con rese molto alte.

Questi embrioni artificiali potrebbero aiutare sia le ricerche sullo sviluppo embrionale precoce (anche per capire che cosa non va negli aborti spontanei) sia forse i test dei farmaci, evitando le controversie etiche suscitate dalla ricerca sugli embrioni umani. O forse no.

I simil-embrioni di Fu non formano la placenta e altre strutture necessarie a proseguire lo sviluppo, quindi non possono generare una persona. Ma arrivano a formare la stria primitiva, la struttura che determina l'asse cefalocaudale dell'embrione: cioè il momento oltre cui, secondo molti, la massa di cellule, che poteva ancora suddividersi in più embrioni, diventa un individuo. Vari paesi vietano le ricerche oltre questo momento, intorno ai 14 giorni di sviluppo. I dibattiti quindi sono destinati a proseguire.

*Giovanni Sabato*

## L'eredità dei Denisova che ci aiuta contro le infezioni

Imparare a tollerarle o combatterle? Sono le due strategie per sopravvivere alle infezioni, ma ancora poco sappiamo poco su come si sono evolute. Ora, uno studio a cui hanno collaborato istituti di Australia, Stati Uniti e Nuova Zelanda, coordinati da Christopher C. Goodnow dell'Università del New South Wales a Sydney, ha scoperto che se siamo in grado di mettere a punto queste strategie difensive lo dobbiamo anche all'uomo di Denisova. Questo ominino, i cui resti sono stati scoperti per la prima volta in Siberia solo nel 2010, era strettamente imparentato con *Homo neanderthalensis*, da cui si separò tra i 300.000 e i 400.000 anni fa.
Quando 50.000 anni fa *H. sapiens* migrò verso Australia e Papua Nuova Guinea, si incrociò non solo con i Neanderthal, ma anche con i denisoviani, e proprio da questi ultimi sembra aver ereditato una variante del gene *TNFAIP3* che svolge una funzione chiave nella regolazione del sistema immunitario. La variante è stata trovata nei resti fossili di Denisova ma non di Neanderthal scoperti in una stessa grotta. La ricerca è stata pubblicata sulla rivista «Nature Immunology».

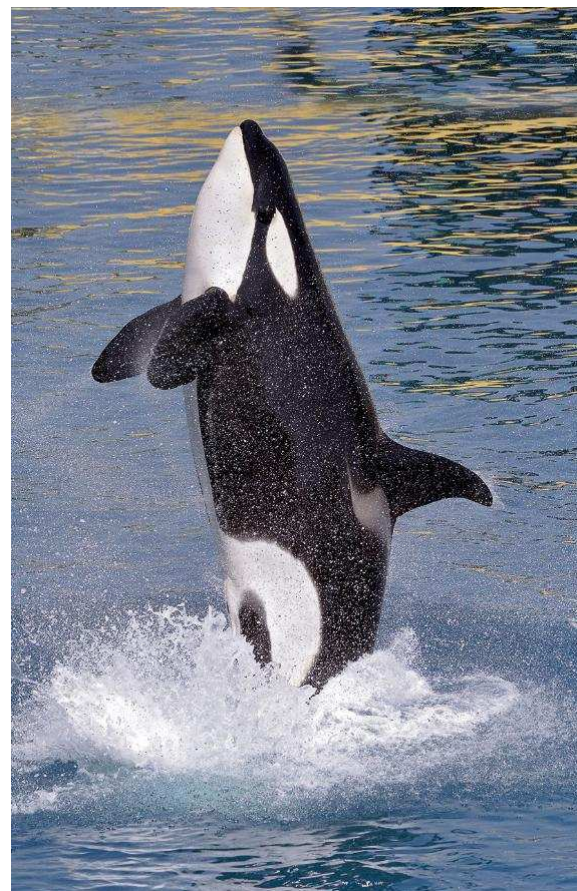
*Marina Semiglia*

## Le tracce dell'evoluzione nei muscoli embrionali

Gran parte di quello che sappiamo dello sviluppo e dell'evoluzione dell'apparato muscolare umano proviene da studi di embriologia avanzata realizzati su altre specie. Ma ora un gruppo di scienziati, coordinati da Rui Diogo, biologo della Howard University, negli Stati Uniti, ha pubblicato la prima analisi dettagliata che illustra l'origine e le trasformazioni dei muscoli di braccia e gambe nell'embrione umano. Le immagini tridimensionali, ottenute grazie a una tecnologia che permette di visualizzare i muscoli dell'embrione fino alla tredicesima settimana di gravidanza, hanno confermato anche nella nostra specie la presenza di atavismi, strutture anatomiche che si perdono prima della nascita ma che la selezione ha conservato in altre specie.
Come spiegano gli autori sulle pagine della rivista «Development», questa scoperta aiuterà a fare chiarezza non solo sui legami fra ontogenesi e filogenesi (spiegando, per esempio, perché alcuni muscoli scomparsi molto presto dalla storia della specie umana compaiono transitoriamente nell'embrione), ma anche sulle dinamiche che guidano lo sviluppo muscolare, dal momento che alcuni degli atavismi illustrati da Diogo e colleghi sono gli stessi che, in qualche occasione, si presentano di nuovo negli adulti con malformazioni congenite. (*SaMo*)

## Come hanno fatto balene e delfini ad adattarsi al mare?

**Quali cambiamenti genetici** hanno permesso, 50 milioni di anni fa ad animali simili a lupi, gli antenati dei cetacei, di trasformarsi in altri che sembrano pesci? Lo ha scoperto una ricerca diretta da Matthias Huelsmann del Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie di Dresda, pubblicata su «Science Advances», confrontando il genoma di balene, orche e delfini con quello degli ippopotami, i loro parenti terrestri più prossimi. È risultato che i cetacei hanno 85 geni attivi in meno degli ippopotami, una perdita avvenuta quindi dopo la loro separazione, che derivata dall'adattamento alla vita in mare.

Fra i geni mancanti, alcuni sono collegati all'attività polmonare, alla regolazione della pressione del sangue e alla coagulazione, e potrebbero essere stati di ostacolo alle immersioni in profondità. È «spento» anche il gene *POLM*, che ripara il DNA, ma è poco accurato: in una situazione in cui continui sbalzi di pressione e ossigenazione causano danni al DNA, forse faceva più male che bene. E manca *SLC4A9*, che regola la produzione di saliva, che in acqua non serve per inghiottire il cibo. Infine sono stati inattivati anche i geni per la melatonina: i cetacei fanno riposare mezzo cervello alla volta, e l'ormone che induce il sonno non serve. (*AlSa*)

## Centrali termoelettriche e riscaldamento globale

Sappiamo calcolare quanta anidride carbonica ($CO_2$) possiamo ancora emettere per raggiungere l'obiettivo di fermare il riscaldamento globale a 1,5 °C oltre la media pre-industriale. Occorrerà effettuare una rapida transizione energetica, ma attualmente ci sono centrali a combustione fossile in funzione, in costruzione o in fase di commissione già approvata. Ma che cosa succederebbe se tutte queste centrali rimanessero in funzione per il loro intero ciclo di vita? Se lo sono chiesti Dan Tong, dell'Università della California a Irvine, e collaboratori in un articolo pubblicato su «Nature».
Il risultati è chiaro: se dovessero funzionare tutte fino a fine vita, l'ammontare di $CO_2$ che possiamo emettere per rimanere nell'aumento di 1,5 °C sarebbe superato, mentre raggiungeremmo i due terzi delle emissioni ammesse per rimanere nei 2°C, come stabilito dagli accordi di Parigi nel 2015. In sostanza, per il primo obiettivo è necessario che non vengano costruite nuove centrali a combustibili fossili e, probabilmente, che qualcuna delle vecchie sia dismessa prima della conclusione del previsto ciclo di vita, o sia dotata di sistemi di cattura e stoccaggio di $CO_2$. Comunque il raggiungimento degli obiettivi dell'accordo di Parigi dipende in buona parte dalle emissioni di centrali non ancora costruite. Possiamo ancora correggere la rotta. (*AnPa*)

Musat/iStock (*orca*); Westcowboy/iStock (*centrale*)

## Il cranio virtuale dell'antenato comune

**In mancanza di un fossile materiale**, ne hanno creato uno virtuale. Aurélien Mounier, del Musée de l'Homme di Parigi, e Marta Mirazón Lahr, dell'Università di Cambridge, presentano su «Nature Communications» la ricostruzione al computer del cranio dell'ultimo antenato comune agli esseri umani moderni, vissuto in Africa intorno a 300.000 anni fa.

I due paleoantropologi hanno esaminato 260 crani rappresentativi di 21 popolazioni viventi, e cinque fossili di ominini mediorientali di circa 100.000 anni fa, molto simili agli esseri umani moderni. Con un modello matematico hanno ricostruito le relazioni evolutive tra i vari esemplari, e di qui le ipotetiche caratteristiche del loro progenitore comune. Che somiglia a un essere umano moderno, ma a nessuna popolazione in particolare. Hanno poi confrontato il cranio virtuale con quelli di cinque ominini di varie aree dell'Africa, concludendo che i più simili all'antenato comune sono quelli sudafricani e di alcune popolazioni dell'Est. Da loro dovrebbero quindi discendere gli esseri umani odierni.

Queste conclusioni potranno cambiare includendo nuovi fossili, precisano gli studiosi, ma il metodo offre un nuovo importante strumento per studiare le origini umane. (*GiSa*)

## Energia in casa con i pannelli solari organici

**Pannelli solari dentro casa?** Perché no. Le celle fotovoltaiche *indoor* non sono certo una novità, ma la loro diffusione è sempre stata limitata dal loro rendimento al chiuso, che, in condizioni di illuminazione casalinga e pannelli tradizionali in silicio amorfo, di solito non supera il dieci per cento del totale di energia acquisita.

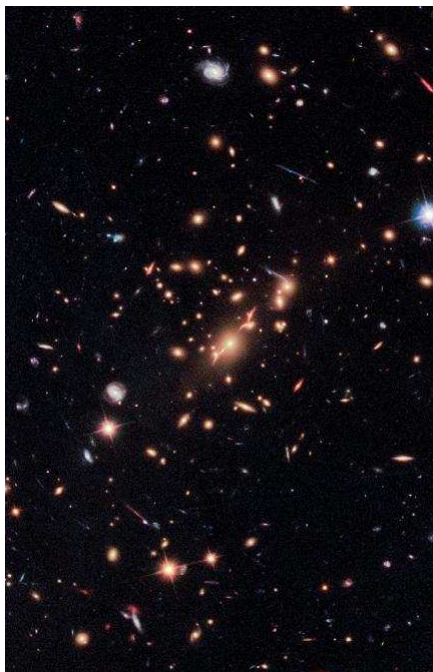
Di recente, però, ricercatori svedesi e cinesi, che fanno capo a Feng Gao dell'Università di Linköping, in Svezia, e Jianhui Hou, dell'Accademia cinese delle scienze a Pechino, hanno ideato un nuovo tipo di cella solare organica perfettamente in grado di funzionare al chiuso e più efficiente dei tradizionali pannelli solari in silicio. La tecnologia presentata su «Nature Energy», al posto del silicio usa polimeri, semiconduttori organici e altri composti del carbonio come materiale attivo e ha dimostrato un'efficienza fino a tre volte più grande rispetto a quella delle celle attualmente sperimentate per la produzione energetica in casa. La diffusione su larga scala di pannelli solari indoor con un buon rendimento permetterebbe da un lato di risparmiare sulla bolletta e ridurre l'impatto ambientale della casa, dall'altro di contribuire allo sviluppo di un settore come l'Internet delle cose, che spazia dalla domotica fino alla pianificazione energetica. (*MaMa*)

## Tre vulcani sottomarini al largo della Calabria

Di recente sono stati individuati una mezza dozzina di piccoli vulcani sottomarini a sud della Sicilia, ora un gruppo dell'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia, diretto da Riccardo De Ritis, ne ha trovati altri tre al largo della costa tirrenica della Calabria. Come si legge su«Tectonis», i ricercatori hanno individuato le strutture a 15 chilometri dalla costa di Cetraro, incrociando tomografia sismica, che mostra le intrusioni di magma, anomalie magnetiche, che rivelano le lave, e mappe sonar, che evidenziano i rilievi sottomarini.
«Li abbiamo chiamati Diamante, Enotrio e Ovidio», dice De Ritis. «Oggi sono alti solo un centinaio di metri e coperti da altrettanta acqua, ma quando si sono formati, fra 780.000 e 20.000 anni fa, dovevano essere molto grandi, Ovidio più del Vesuvio, e forse emergevano come isole. Poi la subsidenza li ha fatti sprofondare e il mare li ha erosi». Questi tre vulcani, che sembrano inattivi, sono stati creati dalla stessa placca di fondo ionico che, incuneandosi sotto quella tirrenica, ha creato l'arco delle isole Eolie. «Ma Diamante, Enotrio e Ovidio, sono stati formati da magma risalito da una frattura laterale della placca tirrenica, come accaduto, con un'altra frattura, per l'Etna. Pensiamo ce ne siano altri di antichi vulcani in quei fondali, ancora da scoprire», conclude de Ritis. (*AlSa*)

## Una nuova via per misurare la costante di Hubble

Un problema aperto in cosmologia è la corretta stima del valore della costante di Hubble, che misura il tasso di espansione dell'universo. Le due principali tecniche usate per misurarla forniscono risultati non compatibili. Ora però uno studio pubblicato su «Science» da Inh Jee e colleghi del Max-Planck-Institut für Astrophysik di Garching, dimostra l'esistenza di una possibile terza via.
La tecnica si basa sulla «lente gravitazionale», una conseguenza della teoria generale della relatività di Albert Einstein: per effetto della curvatura dello spazio-tempo, la luce proveniente da una fonte luminosa distante può subire una deflessione, producendo un'immagine deformata o moltiplicata. Gli scienziati hanno studiato un sistema di lente gravitazionale tra due galassie, usandolo come riferimento per risalire a una stima della costante di Hubble. Il valore ottenuto è più alto di quelli ricavati con gli altri due metodi, anche se la precisione non è ancora abbastanza elevata. Tuttavia, secondo i ricercatori, in futuro questo approccio potrà essere di grande aiuto per avere una risposta più chiara sull'origine della discrepanza. (*MaSe*)

NASA, ESA, M. Postman (STScI), e CLASH team (*amasso galattico MACS J2129-0741*)

# VERITÀ BUGIE & *IN*CERTEZZA

**L'8 luglio il presidente Donald Trump si è presentato nella Sala Est della Casa Bianca e ha tenuto un discorso per celebrare la politica ambientale della sua amministrazione.**

Affiancato dal suo ministro degli interni David Bernhardt, ex lobbista del petrolio e del gas, e dal capo dell'EPA, l'Agenzia per l'ambiente degli Stati Uniti, Andrew Wheeler, ex lobbista del carbone, Trump ha esaltato la gestione delle terre pubbliche, i suoi sforzi per garantire «l'aria più pulita e l'acqua più pulita» e il suo successo nella riduzione delle emissioni di carbonio. In realtà, Trump ha aperto milioni di ettari alle perforazioni e all'estrazione mineraria e ha cercato di sovvertire le molteplici normative sull'inquinamento dell'aria e dell'acqua. Per quanto riguarda le emissioni di carbonio, secondo le stime lo scorso anno sono cresciute del 3,4 per cento, e questa Amministrazione sta ritirando gli Stati Uniti dall'accordo di Parigi sui cambiamenti climatici a cui partecipano quasi tutte le altre nazioni del pianeta.

Il discorso è stato surreale, ma strategico: è arrivato sulla scia dei sondaggi che dimostrano che gli statunitensi sono sempre più preoccupati per l'ambiente. Resta da vedere se Trump influenzerà gli elettori usando false dichiarazioni, ma è chiaro che la sua squadra pensa che sia possibile. Viviamo davvero in tempi interessanti. Come siamo arrivati a questo punto e come ne usciamo?

In questo numero speciale ci siamo proposti di esplorare come sia possibile vivere tutti nello stesso universo ma vedere la realtà in modo così differente. La scienza fondamentale fa luce sulle radici profonde di questo fenomeno. Anche in fisica e matematica, la verità non è del tutto chiara. E le prove sempre più numerose raccolte dalle neuroscienze indicano che le nostre percezioni non sono rappresentazioni dirette del mondo esterno. Al contrario, i nostri cervelli – ognuno dei quali è unico – formulano ipotesi sulla realtà sulla base dei segnali sensoriali che ricevono.

Tuttavia, non c'è dubbio che alcuni fattori specifici della nostra era moderna stiano esasperando la nostra perdita collettiva di riferimenti: gli sviluppi tecnologici che favoriscono la deformazione della verità e la normalizzazione delle menzogne. I social media amplificano la disinformazione su una scala senza precedenti. Gli attacchi informatici alle macchine elettorali e ai sistemi di registrazione degli elettori non minacciano solo i risultati delle elezioni, ma la democrazia stessa.

L'incertezza del mondo ci rende tutti ancora più esposti a quelle campagne. Ma non è tutto rovina e buio. Capendo come trattiamo istintivamente le incognite e come chi agisce in malafede sfrutta l'ecosistema dell'informazione, possiamo procurarci difese contro le narrazioni usate come armi e costruire una comprensione reciproca per risolvere le sfide più pressanti della società.

*Seth Fletcher, Jen Schwartz e Kate Wong, curatori di questo numero della rivista*


PARTE 1

VERITÀ PAGINA 30

PARTE 2

BUGIE PAGINA 50

PARTE 3

*IN*CERTEZZA PAGINA 74


Illustrazione di Red Nose Studio

PARTE 1

# VERITÀ

Illustrazione di Red Nose Studio

**Realtà virtuale**
*di George Musser*
PAGINA 32

**Il gioco dei numeri**
*di Kelsey Houston-Edwards*
PAGINA 37

**Il creatore della realtà**
*di Anil Seth*
PAGINA 42

FISICA

# Realtà virtuale

## Perché una spiegazione fondamentale della realtà potrebbe essere diversa dalla fisica attuale

*di George Musser*

**La fisica sembra uno dei soli settori della vita umana in cui la verità è chiara. Le leggi della fisica descrivono la realtà. Si basano sul rigore matematico e sulle prove sperimentali. Danno risposte, anziché una confusione infinita. Non c'è una fisica mia e una fisica di qualcun altro, bensì un'unica fisica per tutti e dappertutto. Spesso la fisica sembra strana, ma è un buon segno: significa che non è legata a preconcetti. In un mondo che può parere claustrofobico, in cui le discussioni sugli stessi argomenti continuano a girare in tondo, la fisica inietta nella vita qualcosa di veramente nuovo e ci spinge fuori dalle strade già battute.**

La fisica è anche alla base della ricerca della verità in senso più ampio. Se seguiamo una concatenazione di spiegazioni in altre scienze, alla fine arriviamo alla fisica. Il successo della fisica e il suo ruolo come fondamento di altre discipline sono alla base di una visione del mondo naturalistica, o fisicalista, secondo cui tutti i fenomeni hanno spiegazioni fisiche, mentre concetti come l'*élan vital* o l'anima incorporea non hanno più posto in una forma di pensiero seria. La fisica non determina il modo in cui gestiamo le nostre vite o risolviamo pressanti dilemmi morali, ma pone lo sfondo rispetto al quale affrontiamo queste domande.

Se però a molti la fisica sembra la ricerca della verità nella sua forma più pura, i fisici stessi non la vedono sempre così. A volte si sentono colpiti da una sorta di sindrome dell'impostore collettiva. Anche se in genere presumono che ci sia una verità e che loro siano in grado di trovarla – devono presumerlo, altrimenti che senso avrebbe il tutto? – hanno i loro dubbi, che affiorano nelle discussioni informali, nelle conferenze dedicate alle direzioni generali verso cui si dirige la fisica, nelle rinnovate richieste di aiuto ai filosofi e nei libri e blog per i non addetti ai lavori. Queste preoccupazioni sono più acute nella fisica fondamentale, che non è l'intera disciplina ma vi svolge un ruolo sovradimensionato. Molti si preoccupano perché il Large Hadron Collider non ha ancora svelato nuovi fenomeni e così non dà loro nulla su cui lavorare per trovare un nuovo livello di leggi fisiche. Temono che le teorie unificate proposte, come la teoria delle stringhe, non potranno mai essere sottoposte a verifica. Alcuni ritengono che la disciplina sia eccessivamente matematica; altri che sia matematicamente sciatta. La verità può essere sfuggente anche nelle teorie più consolidate. La

### IN BREVE

**Può sembrare che la fisica** si concentri sulla determinazione oggettiva dei fatti, invece si confronta con l'idea stessa di verità.

**La meccanica quantistica,** per esempio, fa ritenere che le particelle non abbiano una realtà definita; per la maggior parte delle interpretazioni, le loro proprietà sono indeterminate fin quando non le si misura.

**Di recente c'è interesse** per come le indeterminatezze della fisica influenzano una delle principali indeterminatezze della scienza: il problema di come opera la coscienza.

Illustrazione di Brook VanDevelder

meccanica quantistica è una teoria sottoposta a tutte le verifiche possibili, ma rimane imperscrutabile.

Uno scienziato che lavora in laboratorio deve affrontare domande meno grandiose. C'è un cavo rotto? Il programma ha qualche *bug*? La misurazione è un'anomalia statistica? Ma anche queste preoccupazioni prosaiche possono essere sottili, e non sono del tutto separate dalle questioni generali della fisica, perché non esistono fatti grezzi e isolati. Ogni cosa deve essere giudicata all'interno di un quadro di conoscenze più ampio.

Secondo molti fisici questi problemi dicono che il loro campo è andato fuori strada e i loro colleghi hanno il paraocchi e non se ne accorgono. Ma un'altra lettura è che l'elusività stessa della verità sia un indizio importante. A differenza di altri ambiti della vita umana, le difficoltà dei fisici nei confronti della verità non provengono dal dissimulare, ma anzi dalla più schietta onestà: dall'essere sinceri sui nostri limiti quando ci troviamo faccia a faccia con la realtà. Solo confrontandoci con questi limiti possiamo superarli.

## Il conflitto tra realismo e antirealismo

I dubbi sul progresso della fisica non sono nuovi. Da quando esistono i fisici, esistono fisici che temono che il loro campo di studi si sia imbattuto in una barriera insormontabile. La ricerca è sempre un pantano quando ci si trova in mezzo. È già notevole che noi umani riusciamo a capire qualcosa della realtà; ogni ostacolo può essere un segno che la nostra buona sorte è finita.

Nel corso delle generazioni i fisici hanno oscillato tra sicurezza di sé e scetticismo, rinunciando periodicamente a trovare la struttura profonda della natura e declassando la fisica alla ricerca di frammenti di conoscenza utile. Incalzato dai suoi contemporanei affinché spiegasse come funziona la gravità, Isaac Newton rispondeva: «Non formulo ipotesi». Commentando la meccanica quantistica, Niels Bohr scrisse: «Il nostro compito non è di penetrare nell'essenza delle cose, il cui significato comunque non conosciamo, ma piuttosto di sviluppare concetti che ci permettano di parlare in modo produttivo dei fenomeni naturali». In realtà entrambi la pensavano in modo più complesso: Newton di fatto formulò diverse ipotesi sulla gravità e Bohr in altre occasioni disse che la teoria quantistica coglie la realtà. A ogni modo, nel complesso fecero progressi mettendo da parte le grandi domande su perché il mondo sia com'è.

Storicamente, i fisici prima o poi tornano a queste domande. Newton non riuscì a spiegare la gravità, ma le generazioni successive hanno raccolto la sfida, fino ad arrivare alla relatività generale di Einstein. L'interpretazione della meccanica quantistica è tornata all'ordine del giorno nella fisica negli anni sessanta e, per quanto ancora aperta, ha portato a idee concrete come la crittografia quantistica. Quello che risveglia la curiosità dei fisici è l'idea che, per dirla con il filosofo Hilary Putnam, il successo delle teorie fisiche sarebbe miracoloso se non fossero in sintonia con la realtà. O, a un livello ancor più fondamentale: come potremmo fare esperimenti se non ci fosse qualcosa di reale su cui farli? Questa posizione è nota come realismo. Sostiene che le entità che non osserviamo direttamente, ma che deduciamo teoricamente – come atomi, particelle, spazio e tempo – esistono davvero. Le teorie sono vere perché riflettono la realtà, per quanto in modo imperfetto. Il conflitto tra il realismo e la posizione opposta, l'antirealismo, andrà avanti perché ognuno dei due si evolve sotto la pressione dell'altro.

Questa competizione è stata positiva per la fisica. Il filosofo e fisico antirealista Ernst Mach ispirò Einstein a ripensare il modo in cui sappiamo quello che sappiamo, o pensiamo di sapere. Questo

**George Musser** collabora con «Scientific American» ed è autore di *Inquietanti azioni a distanza* (Adelphi, 2019) e *The Complete Idiot's Guide to String Theory* (Alpha, 2008).

aprì la strada a tutto ciò che è venuto dopo nella fisica. Una volta che accettiamo che stiamo vedendo il mondo attraverso lenti colorate, possiamo compensare. Alcune caratteristiche della realtà sono relative a un osservatore, mentre altre sono comuni a tutti gli osservatori. Due persone che si muovono a velocità diverse possono non essere d'accordo sulle distanze tra i luoghi, le durate degli eventi o, in alcuni casi, su quale fra due eventi è avvenuto per primo, e non c'è modo di risolvere queste discordanze. La combinazione di distanza e durata – la distanza spazio-temporale – è però un fatto comune a entrambi, un «invariante». Gli invarianti definiscono la verità oggettiva.

## Dalla meccanica quantistica al multiverso

Oltre alle preoccupazioni generiche comuni ai fisici del passato, quelli di oggi hanno incontrato molti limiti specifici e inattesi alla conoscenza. In quasi qualunque interpretazione della meccanica quantistica, alcuni aspetti del mondo quantistico sono impenetrabili. Per esempio, se inviamo un fotone contro uno specchio parzialmente riflettente, può passare attraverso o essere riflesso, e non è possibile prevedere che cosa farà. Il risultato è deciso in modo casuale. Alcuni pensano che il fotone faccia ciò che fa senza un motivo specifico; la casualità è intrinseca. Altri ritengono che ci sia qualche ragione nascosta. Altri ancora pensano che il fotone attraversi lo specchio e ne venga riflesso allo stesso tempo, ma che noi possiamo vedere solo uno dei due esiti. Comunque stiano le cose, le cause sottostanti sono celate.

Le particelle sono facili da manipolare, motivo per cui la meccanica quantistica è descritta in termini di particelle. Ma la maggior parte dei fisici ritiene che le stesse regole si applichino a tutte le cose, compresi gli esseri viventi. Quindi non è chiaro in che momento il fotone compia la scelta di attraversare o venire riflesso, ammesso che compia una scelta. Quando giunge sullo specchio, il sistema costituito dai due oggetti entra in uno stato di incertezza. Se uno strumento di misurazione registra il percorso, viene colto tra le possibilità. Se mandiamo un amico a vedere che cosa è successo, per noi quella persona vede entrambe le eventualità. I fisici devono ancora trovare una soglia di dimensioni o di complessità che forzi l'esito. (Dimensioni e complessità sono importanti nel definire quali siano le opzioni, ma non nella scelta finale.) Per ora conoscono solo un posto in cui l'ambiguità è risolta: la nostra percezione cosciente. Non percepiamo fotoni che fanno simultaneamente due cose che si contraddicono a vicenda. I fisici si ritrovano quindi con un elemento indesiderato di soggettività nella teoria.

Per Christopher A. Fuchs, dell'Università del Massachusetts a Boston, la lezione è che gli osservatori sono partecipanti attivi nella natura e contribuiscono a costruire quello che osservano, mentre è impossibile una prospettiva del tutto in terza persona. La matematica della teoria quantistica confonde elementi soggettivi e oggettivi. L'interpretazione «QBista» dovuta a Fuchs cerca di eliminare gli elementi soggettivi e di rivelare la struttura reale che si trova all'interno, come fece Einstein con la teoria della relatività.

Il filosofo Richard Healey, dell'Università dell'Arizona, ha un approccio correlato, quello «pragmatista», secondo cui la teoria

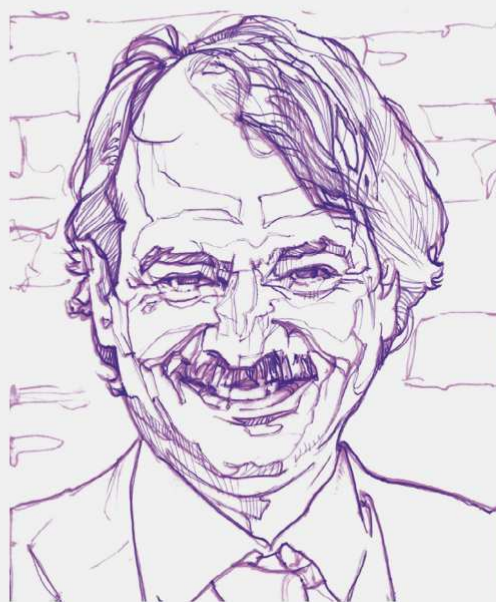
COME UN MEDICO
CERCA LE RISPOSTE

## Le risposte alle domande sulla vita umana non hanno la stessa certezza

della misurazione del numero di secondi che una pietra impiega per cadere a terra. Altrimenti probabilmente non sarebbe vita, bensì una pietra. In biomedicina è difficile capire se un effetto è reale; ci sono standard differenti in campi diversi. Non tutti gli strumenti funzionano per tutte le domande e abbiamo diversi livelli di complessità in quello che sappiamo prima ancora di iniziare uno studio.

Una dimensione fondamentale comune alla biomedicina è però la possibilità di replicare, in un nuovo studio, quello che è stato osservato in una precedente indagine. Per anni siamo stati scoraggiati dal farlo. Perché sprecare soldi per rifare una cosa che abbiamo già fatto noi stessi o addirittura altri? Ma molti ricercatori si rendono conto che non è possibile tralasciare gli studi che ne replicano altri precedenti. Per farli funzionare, però, è essenziale avere una spiegazione dettagliata di come era stato condotto lo studio originario; servono istruzioni, dati grezzi e forse anche software personalizzato. Per molto tempo gli scienziati hanno preferito non condividere queste informazioni, ma ora le cose stanno cambiando. La scienza è un lavoro comune, e dobbiamo partire con l'idea di essere aperti e condividere.

*John P.A. Ioannidis, professore di medicina alla Stanford University; testo raccolto da Brooke Borel*

Illustrazione di Bud Cook

quantistica è una rappresentazione non del mondo ma dell'interfaccia tra il mondo e un agente umano o di altro tipo. La possiamo usare per valutare le probabilità dei possibili eventi, così come un *trader* può acquistare e vendere sulla base delle tendenze del mercato piuttosto che dei principî fondamentali dell'economia. Un trader di questo tipo può diventare ricco senza avere idea di che cosa facciano le aziende. A differenza di Fuchs, Healey non pensa che nella meccanica quantistica sia celata una descrizione della realtà; secondo lui questo richiederà una nuova teoria.

Al polo opposto, se consideriamo la teoria quantistica come una rappresentazione del mondo, siamo portati a vederla come una teoria di realtà alternative coesistenti. Questi mondi multipli o universi paralleli sembrano anche una conseguenza delle teorie cosmologiche: gli stessi processi che hanno dato origine al nostro universo dovrebbero generarne anche altri. Gli altri universi paralleli potrebbero esistere in dimensioni superiori dello spazio, al di là della nostra percezione. Questi universi sono costituiti da varianti del nostro. Non esiste un'unica realtà definita.

Sebbene le teorie che prevedono un multiverso siano oggettive – nelle loro equazioni fondamentali non compaiono osservatori né grandezze che ne dipendono – non eliminano il ruolo dell'osservatore, si limitano a trasferirlo. Dicono che la nostra visione della realtà è filtrata e dobbiamo tenerne conto quando applichiamo la teoria. Se non vediamo un fotone fare allo stesso tempo due cose contraddittorie, non significa che il fotone non le stia facendo; potrebbe significare che possiamo vederne solo una. Analogamente, in cosmologia, la nostra mera esistenza crea una distorsione nelle nostre osservazioni. Viviamo di necessità in un universo in grado di ospitare la vita umana e quindi le nostre misurazioni del cosmo potrebbero non essere del tutto rappresentative.

Gli universi paralleli non alterano la verità che viviamo. Se in questo universo soffriamo, è poco confortante che i nostri quasi-duplicati stiano bene altrove. Questi altri mondi sono però nocivi per la ricerca di una verità più ampia. Dato che gli altri universi non sono generalmente osservabili, rappresentano un limite insuperabile alla nostra conoscenza diretta. Se sono diversi dal nostro, la nostra conoscenza empirica non è solo limitata, ma è tratta in inganno. Le leggi della fisica rischiano di cadere nell'anarchia: non dicono che accada una cosa oppure un'altra, perché accadono entrambe, ed è un puro caso che vediamo quella che vediamo. La distinzione tra realtà e finzione è solo una questione di posizione.

### L'unificazione complicata

Persino aspetti della fisica fondamentale che sembrano chiariti in modo saldo sono sottili. I fisici parlano di particelle e campi: granelli localizzati di materia ed entità continue e fluide come il campo elettrico o magnetico. Ma le loro teorie indicano che cose del genere non possono esistere. Unendo la meccanica quantistica con la relatività si escludono le particelle. Nulla può essere localizzato nel modo descritto dal concetto tradizionale di particella. Il numero di particelle visto dagli osservatori dipende dallo stato di moto di questi ultimi; non è invariante e pertanto non si qualifica come un fatto oggettivo. I gruppi di particelle possono avere proprietà collettive al di là delle proprietà dei singoli individui.

Anche i campi non sono come sembrano. Le teorie quantistiche moderne hanno eliminato da tempo i campi elettrici e magnetici come strutture concrete e li hanno sostituiti con un'astrazione matematica difficile da interpretare. Tra le sue molte caratteristiche strane, questa astrazione è altamente ridondante; è più complessa del fenomeno reale che dovrebbe rappresentare. I fisici hanno cercato strutture alternative in linea con la realtà, ma queste strutture non sono più davvero campi. Per ora continuano a descrivere il mondo in termini di particelle e campi, consapevoli che il quadro completo non è ancora alla loro portata.

Le teorie unificate proposte per la fisica introducono nuove complicazioni. La teoria delle stringhe, in particolare, ha destato controversie. Abbraccia in pieno gli universi paralleli, con le loro strane conseguenze per la verità. Si basa anche sulle dualità:

espressioni matematiche diverse che formulano le stesse previsioni per le osservazioni e si rivelano modi alternativi per descrivere la stessa situazione. Queste dualità sono potenti perché permettono il pensiero laterale. Se un'equazione è troppo difficile da risolvere, possiamo usare una dualità per tradurla in una più semplice. Ma se più formulazioni matematiche sono equivalenti, come facciamo a sapere quale corrisponde alla realtà, se pure ce n'è una?

Molti critici della teoria delle stringhe si lamentano del fatto che nessuno strumento noto può metterla alla prova perché prevede effetti minuscoli. Questa critica si applica però anche alle sue concorrenti: è la maledizione del successo. Nelle teorie esistenti non ci sono molte fessure che possano farci guardare a un livello più profondo. In mancanza di una guida sperimentale, i fisici hanno dovuto sviluppare queste teorie matematicamente. Meccanica quantistica e relatività danno vincoli così stretti da essere quasi sufficienti da sole a dettare la forma della teoria unificata. Eppure tutte le teorie proposte si basano fortemente su opinioni basate sulla bellezza e l'eleganza, che potrebbero rivelarsi errate.

C'è una strana tendenza insita nell'intero progetto di unificazione. Più i fisici si immergono a fondo nella realtà, più la realtà sembra evaporare. Se fenomeni distinti sono manifestazioni di cose uguali sottostanti, le loro differenze devono essere prodotte dal modo in cui si comportano, più che della loro natura intrinseca. La spiegazione fisica sostituisce i nomi con i verbi: quello che le cose sono è un prodotto di ciò che fanno i loro componenti. La teoria delle stringhe forse non sarà corretta, ma illustra questa tendenza: afferma che il vasto zoo di particelle è costituito da diversi modi di vibrazione di un unico tipo di oggetto primitivo, privo di caratteristiche, la stringa. Portato a un estremo logico, questo ragionamento suggerisce che non rimarrà alcun nome.

**La verità può essere sfuggente anche nelle teorie più consolidate. La meccanica quantistica ha superato le verifiche possibili, ma resta imperscrutabile**

Alcuni filosofi ne concludono che l'intera categoria di «cosa» è sbagliata. Secondo un approccio noto come realismo strutturale, sono le relazioni i principali ingredienti della natura, e ciò che percepiamo come cose sono in realtà nodi di relazioni. Ma questo approccio ha i suoi problemi. Che cosa distingue gli oggetti fisici da quelli matematici, o una simulazione dal sistema di partenza? In entrambi sono presenti le stesse serie di relazioni, e quindi non sembra che ci sia nulla a distinguerli. E se non ci sono i nomi, chi è che mette in atto i verbi? La fisica è costruita sulle sabbie mobili?

### Un problema di coscienza

Non sono solo i problemi della fisica a far chiedere ai ricercatori se si trovano sulla strada giusta. Molti fisici si sono interessati alla coscienza. I metodi della scienza sembrano intrinsecamente incapaci di descrivere le esperienze soggettive. La nostra vita mentale interiore è celata all'osservazione esterna e non sembra riducibile a una descrizione matematica. A molti ricercatori sembra un componente aggiuntivo non indispensabile, senza un posto nello schema fisico delle cose. Se si ragiona in questo modo, la comprensione della mente potrebbe richiedere nuovi principi scientifici o un nuovo modo di pensare. Il fatto che dalla loro visione del mondo possa mancare qualcosa di così importante affascina i fisici.

Non è l'unico motivo per cui riflettono sulla mente. Il multiverso è un esempio di come sia possibile che percepiamo una versione filtrata della realtà, e una volta avviati su questa strada in cui ci chiediamo quanto possa essere distorta la verità possiamo considerare possibilità al cui confronto il multiverso sembra una cosa da niente. Per Immanuel Kant la struttura della mente condiziona ciò che percepiamo. In questa tradizione Markus Müller, fisico dell'Institute for Quantum Optics and Quantum Information di Vienna, e Donald Hoffman, scienziato cognitivo dell'Università della California a Irvine, tra gli altri, hanno sostenuto che percepiamo il mondo come diviso in oggetti situati nello spazio e nel tempo, non necessariamente perché abbia questa struttura ma perché è l'unico modo in cui ci è possibile percepirlo.

Solo perché il nostro cervello interagisce con il mondo non vuol dire che ne colga fedelmente la struttura. Nell'apprendimento automatico i ricercatori hanno scoperto che i sistemi informatici sono spesso più abili nel formulare previsioni o nel controllare apparecchiature quando prescindono da rappresentazioni dirette del mondo. Allo stesso modo, la realtà potrebbe essere diversa da quello che le nostre menti o le nostre teorie ci presentano. Il filosofo Colin McGinn e lo psicologo della Harvard University Steven Pinker hanno proposto che il motivo per cui troviamo difficile il problema della coscienza sia nel nostro specifico stile di ragionamento. Forse un giorno costruiremo menti artificiali in grado di andare al fondo di problemi che ci sconcertano e che invece potrebbero bloccarsi su altri che riteniamo facili.

Se c'è una cosa che ripristina la fiducia che la verità sia alla nostra portata, è la possibilità del *divide et impera*. Sebbene «reale» sia talvolta equiparato a «fondamentale», ciascuno dei molteplici livelli di descrizione presenti nella scienza ha lo stesso diritto di essere considerato reale. Pertanto, anche se alle radici del modo fisico ogni cosa svanisce abbiamo il diritto di pensare alle cose che vediamo nella vita quotidiana. Malgrado la meccanica quantistica sia sconcertante, possiamo fondare su di essa una solida idea del mondo. E anche se ci preoccupa il fatto di non percepire la realtà fondamentale, percepiamo pur sempre la nostra realtà, e qui c'è molto da studiare.

Se scopriamo che le nostre teorie inseguono fantasmi, non è una cosa negativa: ci ricorda di essere umili. I fisici possono essere pieni di sé, ma i più esperti e abili sono in genere cauti; tendono a essere i primi a evidenziare i problemi delle loro idee, non fosse altro per evitarsi l'imbarazzo che qualcun altro lo faccia per loro. Nessuno ha mai detto che trovare la verità sarebbe stato facile. ■

PER APPROFONDIRE


**A Fight for the Soul of Science.** Wolchover N., in «Quanta Magazine», pubblicato on line il 16 dicembre 2015. **www.quantamagazine.org/physicists-and-philosophers-debate-the-boundaries-of-science-20151216.**

**Sedotti dalla matematica. Come la bellezza ha portato i fisici fuori strada.** Hossenfelder S., Raffaello Cortina, Milano, 2019.

**In It for the Long Haul.** Chalmers M., in «CERN Courier», Vol. 59, n. 2, pp. 45-49, marzo-aprile 2019. **https://cerncourier.com/in-it-for-the-long-haul.**

**Universi paralleli.** Tegmark M., in «Le Scienze» n. 418, giugno 2003.

**Il paradosso dei paradossi quantistici.** Von Baeyer H.C., in «Le Scienze» n. 540, agosto 2003.

**Che cosa è reale?** Kuhlmann M., in «Le Scienze» n. 542, ottobre 2003.

MATEMATICA

# Il gioco dei numeri

## Gli oggetti matematici esistono o sono pure finzioni? I filosofi hanno opinioni discordanti

*di Kelsey Houston-Edwards*

**Quando dico a qualcuno che sono una matematica, una delle reazioni comuni più curiose è: «La matematica come materia mi piaceva proprio, perché ogni cosa è o giusta o sbagliata. Non ci sono né ambiguità né dubbi». A quel punto riesco solo a balbettare; per molti la matematica era tutt'altro che la materia preferita, e quindi mi dispiace deludere l'entusiasmo, ma la matematica è piena di incertezze. Solo che le nasconde bene.**

Certo, capisco che cosa intendono. Quando l'insegnante chiede se 7 è un numero primo, la risposta è senz'altro «sì». Per definizione, un numero primo è un numero intero maggiore di 1 che sia divisibile solo per sé stesso e per 1, come 2, 3, 5, 7, 11, 13 e così via. Qualsiasi insegnante di matematica, in qualsiasi parte del mondo, in qualsiasi momento delle ultime migliaia di anni, considererà corretta l'affermazione «7 è primo» e sbagliata «7 non è primo». Poche altre discipline possono raggiungere questa incredibile unanimità. Però se chiediamo a 100 matematici da dove deriva la verità di un'affermazione matematica, otterremo 100 risposte diverse. Forse il numero 7 esiste realmente come oggetto astratto, e la primalità è una delle caratteristiche di questo oggetto. Oppure potrebbe essere parte di un complicatissimo gioco ideato dai matematici. In altre parole, i matematici concordano in misura notevole sul fatto che un'affermazione sia vera o falsa, ma non concordano su quale sia esattamente l'oggetto di questa affermazione.

Un aspetto della controversia è la semplice domanda filosofica se la matematica sia stata scoperta dagli esseri umani o se l'abbiamo inventata. Forse 7 è un oggetto reale, che esiste indipendentemente da noi, e i matematici scoprono fatti che lo riguardano. Oppure potrebbe essere un frutto della nostra immaginazione la cui definizione e le cui proprietà sono flessibili. Fare matematica, di fatto, incoraggia una sorta di doppia prospettiva filosofica, in cui la matematica è trattata sia come inventata sia come scoperta.

Tutto questo mi ricorda l'improvvisazione teatrale. I matematici inventano un'ambientazione con una manciata di personaggi, od oggetti, e alcune regole di interazione, poi osservano come si evolve la trama. Gli attori sviluppano rapidamente personalità e relazioni sorprendenti, slegate da quelle che avevano in mente i matematici. Ma indipendentemente da chi dirige la *pièce* l'epilogo è sempre lo stesso. Anche in un sistema caotico, i cui finali possono differire enormemente, identiche condizioni iniziali porteranno sempre a un identico punto finale. È questa inevitabilità che conferisce alla matematica la sua enorme coesione. Dietro le quinte sono nascoste domande difficili sulla natura fondamentale degli oggetti matematici e sull'acquisizione della conoscenza matematica.

### Commedia in tre atti

Come facciamo a sapere se un'affermazione matematica è corretta o meno? A differenza degli scienziati sperimentali, che in genere cercano di dedurre le leggi della natura dalle osservazioni, i matematici iniziano con un insieme di oggetti e di regole per poi trarne rigorosamente le loro deduzioni. Il risultato di questo processo deduttivo è una dimostrazione, che spesso passa da fatti più semplici a fatti più complessi. A prima vista, le dimostrazioni sembrano la chiave dell'incredibile unanimità tra i matematici.

Ma le dimostrazioni forniscono solo una verità condizionata, in cui la verità della conclusione dipende dalla verità delle ipotesi di partenza. È questo il problema dell'idea diffusa secondo cui l'unanimità tra i matematici deriverebbe dai ragionamenti basati su

dimostrazioni. Tutto si basa sui presupposti alla base delle dimostrazioni; molte delle domande difficili dal punto di vista filosofico su verità e realtà matematiche riguardano proprio questo punto di partenza. Ci poniamo quindi la domanda: da dove provengono questi oggetti e queste idee fondamentali?

Spesso l'imperativo è l'utilità. Abbiamo bisogno per esempio dei numeri, in modo da poter contare (cose come i capi di bestiame), e degli oggetti geometrici come i rettangoli, per esempio per misurare le aree dei campi. A volte il motivo è estetico: quanto è interessante o attraente la storia che otteniamo? Modificando i presupposti iniziali a volte si sbloccano strutture e teorie estesissime e se ne precludono altre. Per esempio potremmo inventare un nuovo sistema di aritmetica in cui decidiamo che un numero negativo moltiplicato per un numero negativo dà ancora un numero negativo (rendendo la vita più facile ai poveri insegnanti di matematica), ma poi molte altre proprietà intuitive e desiderabili della retta numerica sparirebbero. I matematici giudicano gli oggetti fondamentali (come i numeri negativi) e le loro proprietà (come il risultato della loro moltiplicazione) nel contesto di un paesaggio matematico più ampio e coerente. Prima di dimostrare un nuovo teorema, quindi, un matematico deve guardare come si svolgerà la pièce. Solo a quel punto il teorico sa che cosa dimostrare: la conclusione inevitabile e immutabile. Così il processo di «fare matematica» ha tre fasi: invenzione, scoperta e dimostrazione.

## Invenzione

I personaggi della commedia sono quasi sempre costruiti da oggetti più semplici. Per esempio una circonferenza è definita come l'insieme dei punti equidistanti da un punto centrale. Quindi la sua definizione si basa su quella del punto, un tipo di oggetto più semplice, e sulla distanza tra due punti, una proprietà di questi oggetti più semplici. Allo stesso modo, la moltiplicazione è un'addizione iterata, e l'elevazione a potenza è una moltiplicazione di un numero per sé stesso ripetuta varie volte. Quindi le proprietà delle potenze sono ereditate da quelle della moltiplicazione. All'inverso, possiamo indagare oggetti matematici complicati studiando gli oggetti più semplici in termini dei quali sono definiti. Questo ha portato alcuni matematici e filosofi a considerare la matematica come una piramide rovesciata, con molti oggetti e idee complicati dedotti a partire da una base ristretta di concetti semplici.

Tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo un gruppo di matematici e filosofi cominciò a chiedersi che cosa sorregge questa pesante piramide della matematica. Si preoccupavano seriamente che la matematica potesse non avere fondamenta, che la verità di fatti come $1 + 1 = 2$ non si basasse su nulla. (Un insieme ossessivo di personaggi, molti dei quali lottarono con la malattia mentale). Dopo cinquant'anni di affanni, l'ampio progetto non è riuscito a produrre una singola risposta unificante che soddisfi tutti gli obiettivi originari, ma ha generato nuove branche di matematica e filosofia.

Alcuni matematici speravano di risolvere la crisi dei fondamenti costruendo un insieme relativamente semplice di assiomi da cui si potessero ricavare tutte le verità matematiche. Il lavoro svolto da Kurt Gödel negli anni trenta, tuttavia, viene spesso interpretato come una dimostrazione che ridurre tutto ad assiomi in questo modo sia impossibile. Innanzitutto, Gödel dimostrò che qualsiasi candidato ragionevole al ruolo di sistema di assiomi sarà incompleto: esistono enunciati matematici che il sistema non potrà né dimostrare né confutare. Ma il colpo più devastante arrivò con il secondo teorema di Gödel sull'incompletezza della matematica. Qualsiasi sistema fondamentale di assiomi dovrebbe essere coerente – cioè privo di affermazioni che possano essere sia dimostrate sia confutate (la matematica sarebbe molto meno soddisfacente se potessimo dimostrare che 7 è primo e anche che 7 non è primo) – e anche in grado di dimostrare, cioè garantire matematicamente, la propria coerenza. Il secondo teorema di Gödel afferma che questo è impossibile.

La ricerca dei fondamenti della matematica portò all'incredibile scoperta di un sistema di assiomi basilari, noto come teoria degli insiemi di Zermelo-Fraenkel, da cui si può ricavare la maggior parte della matematica interessante e significativa. Questi assiomi, che partono appunto dal concetto di insieme, non sono il fondamento idealizzato in cui avevano sperato nel corso della storia alcuni matematici e filosofi, ma sono straordinariamente semplici e sono alla base della maggior parte della matematica.

Nel corso del Novecento i matematici hanno discusso sulla possibilità di ampliare la teoria degli insiemi di Zermelo-Fraenkel con una regola aggiuntiva, il cosiddetto assioma della scelta: se abbiamo un numero infinito di insiemi di oggetti, è possibile formare un nuovo insieme scegliendo un oggetto da ognuno degli insiemi. Immaginiamo una fila di secchi, ognuno dei quali contiene alcune palline, e un secchio vuoto. Da ogni secchio nella fila possiamo scegliere una pallina e metterla nel secchio vuoto. L'assioma della scelta ci permetterebbe di farlo anche con una fila infinita di secchi.

Non solo ha verosimiglianza intuitiva, ma è necessario per dimostrare diversi enunciati matematici utili e desiderabili. Ha però come conseguenza anche alcune cose strane, come il paradosso di Banach-Tarski, secondo cui si può dividere una sfera solida in cinque pezzi e riassemblarli in due nuove sfere, ognuna delle quali di dimensioni uguali alla prima. In altre parole, è possibile raddoppiare la sfera. Gli assiomi si giudicano in base alle strutture che producono, e l'assioma della scelta ha come conseguenza molte affermazioni importanti, ma si porta dietro anche un bagaglio aggiuntivo. Senza l'assioma della scelta, sembra che la matematica rimanga priva di alcuni fatti cruciali, ma con questo assioma include enunciati strani e potenzialmente indesiderati.

**Kelsey Houston-Edwards** è professoressa associata di matematica all'Olin College of Engineering. Ha scritto e condotto *Infinite Series* di PBS ed è stata AAAS Mass Media Fellow a «NOVA Next».

IN BREVE

**I matematici** tendono ad avere contemporaneamente due opinioni incompatibili degli oggetti che studiano.

**I numeri primi,** per esempio, hanno tra loro relazioni sorprendenti che i matematici stanno ancora scoprendo.

**Le indagini** di quello che sembra un paesaggio alieno incoraggiano l'idea che gli oggetti matematici esistano indipendentemente dagli esseri umani.

**Se gli oggetti matematici** sono reali, tuttavia, perché non li si può toccare, vedere o interagirci in altro modo? Domande di questo tipo portano spesso i matematici a postulare che in realtà il mondo degli oggetti matematici sia fittizio.

Illustrazione di Brook VanDevelder

Il grosso della matematica moderna usa un insieme standard di definizioni e convenzioni che hanno preso forma nel tempo. Per esempio, una volta si considerava l'1 come un numero primo, ma ora non più. Si continua a discutere, tuttavia, se lo 0 debba essere considerato un numero naturale (i numeri naturali sono 0, 1, 2, 3... oppure 1, 2, 3...: dipende dalla persona a cui lo chiedete). Quali personaggi o invenzioni entrano a far parte del canone matematico dipende di solito da quanto sia interessante la pièce risultante, il che però si osserva nel corso degli anni. In questo senso, la conoscenza matematica è cumulativa. Le vecchie teorie possono smettere di suscitare interesse, ma di rado vengono invalidate, come invece accade spesso nelle scienze naturali. I matematici scelgono semplicemente di rivolgere l'attenzione a una nuova serie di ipotesi di partenza e di esplorare la teoria che se ne sviluppa.

### Scoperta

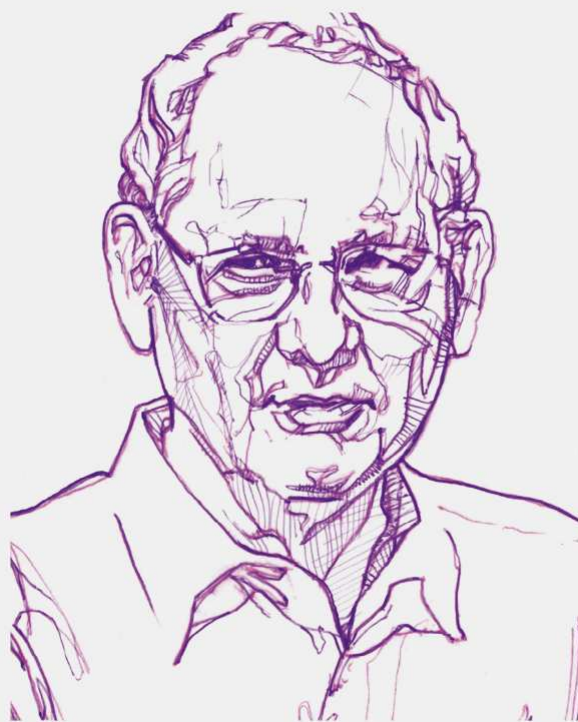
Come abbiamo visto, spesso i matematici definiscono oggetti e assiomi avendo in mente una specifica applicazione. Accade innumerevoli volte, però, che questi oggetti li sorprendano nella seconda fase del processo matematico: la scoperta. I numeri primi, per esempio, sono i componenti fondamentali della moltiplicazione, a partire dai quali si costruiscono gli altri numeri. Un numero è primo se non si può scrivere come prodotto di due numeri più piccoli; ogni numero non primo (composto) si può ottenere moltiplicando un insieme univocamente determinato di numeri primi.

Nel 1742 il matematico Christian Goldbach ipotizzò che ogni numero pari maggiore di 2 sia somma di due numeri primi. Se scegliamo un qualsiasi numero pari, la congettura di Goldbach afferma che sia possibile trovare due numeri primi la cui somma sia questo numero pari. Se scegliamo 8, questi due numeri primi sono 3 e 5; scegliamo 42 e troviamo 13 + 29. La congettura di Goldbach è sorprendente perché suggerisce che, sebbene i numeri primi siano pensati per essere moltiplicati fra loro, ci siano relazioni sorprendenti e accidentali tra i numeri pari e le *somme* di primi.

Un'abbondanza di indizi sembra sostenere la congettura di Goldbach. Nei 300 anni trascorsi dalla formulazione originaria, i computer hanno confermato che vale per tutti i numeri pari inferiori a $4 \times 10^{18}$. Ma in matematica questo non basta per dichiarare corretta la congettura di Goldbach. Per quanti possano essere i numeri pari verificati da un computer, potrebbe essere in agguato dietro l'angolo un controesempio, cioè un numero pari che non è somma di due primi.

Immaginiamo che il computer stampi via via i risultati. Ogni volta che trova due primi che hanno come somma uno specifico numero pari, stampa quel numero pari. Ormai abbiamo un elenco lunghissimo di numeri, che potremmo mostrare a un amico considerandolo un motivo convincente per credere alla congettura di Goldbach. Ma il nostro amico trova sempre un numero pari che non è nell'elenco e ci chiede come facciamo a sapere che la congettura di Goldbach sia vera per quel numero. È impossibile che tutti gli (infiniti) numeri pari compaiano nell'elenco. Solo una dimostrazione matematica – un ragionamento logico a partire dai principi di base che mostra che la congettura di Goldbach è vera per ogni numero pari – potrà elevare la congettura al rango di teorema, di fatto acquisito. Finora nessuno ha trovato una dimostrazione.

La congettura di Goldbach illustra una distinzione cruciale tra la fase di scoperta e la fase di dimostrazione della matematica. Nella prima si cercano prove schiaccianti a favore di un fatto matematico, il che nelle scienze empiriche è spesso anche l'obiettivo finale. I fatti matematici, invece, richiedono una dimostrazione.

#### COME UN LINGUISTA STORICO CERCA LE RISPOSTE

**Come tutti gli scienziati, anche i linguisti si basano sul metodo scientifico.**

Uno dei principali obiettivi della linguistica è descrivere e analizzare le lingue per scoprire l'intero spettro di che cosa è possibile e che cosa no nelle lingue umane. Da questo, i linguisti mirano a raggiungere il loro obiettivo di comprendere la cognizione umana attraverso la facoltà del linguaggio.

Il lavoro che si fa per descrivere le lingue in pericolo è quindi urgente: vanno documentate mentre sono ancora in uso, per comprendere quello che è linguisticamente possibile. Ci sono circa 6500 lingue umane conosciute e circa il 45 per cento è in pericolo.

I linguisti usano una serie specifica di criteri per identificare le lingue in pericolo e determinare in che misura lo siano: ci sono ancora bambini che imparano la lingua? Quante persone la parlano? La percentuale di parlanti è in diminuzione rispetto alla popolazione complessiva? E i contesti in cui viene usata la lingua stanno diminuendo?

La questione dell'oggettività scientifica e della «verità» è connessa alla ricerca sulle lingue in pericolo. La verità, in un certo senso, è contestuale. Quello cioè che riteniamo vero può cambiare una volta ottenuti più dati e prove, oppure man mano che i nostri metodi migliorano. Lo studio delle lingue in via di estinzione scopre spesso cose che non sapevamo possibili nelle lingue, costringendoci a riesaminare le precedenti affermazioni sui limiti del linguaggio umano; quindi a volte quello che ritenevamo vero può cambiare.

*Lyle Campbell, professore emerito di linguistica all'Università delle Hawaii a Mānoa; testo raccolto da Brooke Borel*

Illustrazione di Bud Cook

Regolarità e prove aiutano i matematici a orientarsi tra le scoperte matematiche e a decidere che cosa dimostrare, ma possono anche essere ingannevoli. Per esempio, costruiamo questa successione di numeri: 121, 1211, 12111, 121111, 1211111 e così via. Formuliamo ora una congettura: nessuno dei numeri della successione è primo. È facile avere prove a favore di questa congettura. Osserviamo che 121 non è primo, perché $121 = 11 \times 11$; similmente, nessuno fra 1211, 12111 e 121111 è primo. Questo fatto va avanti per un bel po', probabilmente abbastanza perché ci si annoi di controllare, ma all'improvviso non funziona più. L'elemento 136 della successione (cioè il numero 12111... 111, dove il «2» è seguito da 136 cifre «1») è primo.

Si potrebbe pensare che i computer possano contribuire a risolvere questo problema permettendoci di verificare la congettura su più numeri della successione. Ci sono però esempi di regolarità matematiche che valgono per i primi $10^{42}$ elementi di una successione e poi vengono meno. Addirittura con tutta la potenza di calcolo del mondo, non potremmo mai controllare tanti numeri.

Ciò nonostante, la fase di scoperta del processo matematico è estremamente importante. Rivela connessioni nascoste come la congettura di Goldbach; spesso due rami distinti della matematica sono stati studiati approfonditamente in modo separato prima che si scoprisse una relazione profonda tra di essi. Un esempio semplice è l'identità di Eulero, $e^{i\pi} + 1 = 0$, che collega la costante geometrica $\pi$ con il numero $i$, definito algebricamente come radice quadrata di $-1$, attraverso il numero $e$, la base dei logaritmi naturali. Queste scoperte fanno parte della bellezza e della curiosità della matematica. Sembrano indicare una struttura profonda al di sotto di tutto che i matematici stanno appena iniziando a capire.

È in questo senso che la matematica dà l'impressione di essere al contempo inventata e scoperta. Gli oggetti di studio sono definiti con precisione, ma assumono una vita propria, rivelando una complessità inaspettata. Pare quindi che il processo matematico richieda che i suoi oggetti siano contemporaneamente visti come reali e inventati, come oggetti con proprietà concrete, individuabili e come invenzioni della mente facilmente manipolabili. Come scrive la filosofa Penelope Maddy, tuttavia, la dualità non fa alcuna differenza sul modo in cui i lavorano matematici, «purché sia accettabile il bispensiero».

## Reale o irreale?

Il realismo matematico è la posizione filosofica che sembra valere nella fase della scoperta: gli oggetti dello studio matematico – dalle circonferenze e dai numeri primi alle matrici e alle varietà – sono reali ed esistono indipendentemente dalle menti umane. Come un astronauta che esplora un pianeta lontano o un paleontologo che studia i dinosauri, il matematico ottiene risultati su entità reali. Dimostrare che la congettura di Goldbach è vera, per esempio, significa appurare che i numeri pari e i numeri primi sono correlati in un certo modo attraverso l'addizione, come un paleontologo potrebbe mostrare che un tipo di dinosauro discende da un altro osservando che le loro strutture anatomiche sono correlate.

Il realismo nelle sue varie manifestazioni, tra cui il platonismo (ispirato alla teoria delle idee di Platone), rende facilmente comprensibile l'universalità e l'utilità della matematica. Un oggetto matematico ha una certa proprietà, come per il 7 l'essere numero primo, nello stesso modo in cui un dinosauro avrebbe potuto avere la proprietà di volare. E un teorema matematico, come il fatto che la somma di due numeri pari è pari, è vero perché i numeri pari esistono davvero e si trovano in una certa relazione tra loro. Questo spiega perché, al di là delle differenze temporali, geografiche e culturali, in genere concordiamo tutti sui fatti matematici: fanno tutti riferimento agli stessi oggetti fissi.

Ci sono però importanti obiezioni al realismo. Se gli oggetti matematici esistono davvero, hanno certamente proprietà molto peculiari. Per cominciare, sono inerti dal punto di vista causale, nel senso che non possono essere la causa di nulla, e quindi non è possibile interagirci letteralmente. Questo è un problema, perché in genere quello che sappiamo di un oggetto ci giunge tramite i suoi effetti. I dinosauri si decomposero lasciando ossa che i paleontologi possono vedere e toccare; un pianeta può passare davanti a una stella, occultandone la luce. Un cerchio invece è un oggetto astratto, indipendente dallo spazio e dal tempo. Il fatto che $\pi$ sia il rapporto tra la circonferenza e il diametro di un cerchio non riguarda una lattina o una ciambella; si riferisce a un cerchio matematico astratto, in cui le distanze sono esatte e i punti sono infinitamente piccoli. Un cerchio così perfetto è inerte dal punto di vista causale e apparentemente inaccessibile. Come possiamo apprendere qualcosa in proposito senza qualche sesto senso?

È questo il problema del realismo: non riesce a spiegare come conosciamo i fatti sugli oggetti matematici astratti. Tutto ciò potrebbe indurre un matematico ad arretrare da una posizione tipicamente realista e ad aggrapparsi al primo passo del processo matematico: l'invenzione. Definendo la matematica come un esercizio mentale puramente formale oppure come una finzione completa, l'antirealismo evita facilmente i problemi epistemologici.

Il formalismo, un tipo di antirealismo, è una posizione filosofica che afferma che la matematica è come un gioco e che i matematici si limitano a giocare seguendo le regole. Dichiarare che 7 è un numero primo è come affermare che il cavallo è l'unico pezzo degli scacchi che si muove a L. Un'altra posizione filosofica, il finzionismo, afferma che gli oggetti matematici sono finzioni. Dichiarare che 7 è un numero primo è quindi come affermare che gli unicorni sono bianchi. La matematica ha senso nel suo universo immaginario, ma non ha alcun significato reale al di fuori.

Qualche compromesso è inevitabile. Se la matematica è inventata, come mai è una parte così necessaria della scienza? Dalla meccanica quantistica ai modelli dell'ecologia, la matematica è uno strumento scientifico generale e preciso. Gli scienziati non pensano che le particelle si muovano secondo le regole degli scacchi o che una crepa in un piatto imiti il percorso di Hänsel e Gretel: il peso della descrizione scientifica è portato esclusivamente dalla matematica, il che la distingue da altri giochi o finzioni.

In fin dei conti, questi problemi non influiscono sulla pratica della matematica. I matematici sono liberi di scegliere come interpretare la propria professione. In *L'esperienza matematica* (Edizioni di Comunità, 1985), Philip Davis e Reuben Hersh hanno scritto che «il tipico matematico di professione è un platonista nei giorni feriali e un formalista la domenica». Incanalando tutti i disaccordi in un processo preciso – che comprende sia l'invenzione sia la scoperta – i matematici sono incredibilmente efficienti nel produrre un'unanimità nella loro disciplina. ■

PER APPROFONDIRE

**Logicomix.** Doxiadis A. e Papadimitriou C.H., disegni di Papadatos A., colori di Di Donna A.,Guanda, Milano, 2010; Le Scienze, Roma, 2017.

**Where Proof, Evidence and Imagination Intersect.** Honner P., in «Quanta Magazine», pubblicato on line il 14 marzo 2019.

**Why Isn't 1 a Prime Number?** Lamb E., in ScientificAmerican.com, pubblicato on line il 2 aprile 2019.

NEUROSCIENZE

# Il creatore della realtà

## È il cervello a costruire la realtà, e non esistono due cervelli esattamente uguali

*di Anil Seth*

**«Noi non vediamo le cose per come sono, ma per come siamo noi».**
da *La seduzione del Minotauro*, di Anaïs Nin (1961)

**Il 10 aprile 2019 papa Francesco, Salva Kiir Mayardit, presidente del Sud Sudan, e l'ex leader dei ribelli Riek Machar Teny Dhurgon si sono seduti a tavola insieme, in Vaticano. Hanno cenato in silenzio, l'inizio di un ritiro durato due giorni, mirato a ricomporre una guerra civile che dal 2013 aveva causato circa 400.000 morti. Più o meno nello stesso periodo, nel mio laboratorio all'Università del Sussex, nel Regno Unito, lo studente di PhD Alberto Mariola dava gli ultimi ritocchi a un nuovo esperimento: alcuni volontari provavano l'esperienza di essere in una stanza che credevano fosse lì, ma che in realtà lì non era.**

Nelle cliniche psichiatriche sparse per il mondo le persone arrivano a lamentarsi che le cose per loro non sembrano più «reali»: che riguardino il mondo circostante oppure se stessi. Nelle società frammentate in cui viviamo, quello che è reale – e quello che non lo è – sembra sempre più una questione che ci riguarda tutti. Le parti belligeranti potrebbero sperimentare e credere in realtà differenti: forse pranzare insieme in silenzio può essere di aiuto perché offre una piccola fetta di realtà su cui trovarsi d'accordo, una piattaforma stabile su cui costruire ulteriori conoscenze.

Non dobbiamo per forza ricorrere alla guerra e alla psicosi per scoprire universi interiori radicalmente differenti. Nel 2015 una foto di un abito da donna, con una cattiva esposizione, si era diffusa su Internet, dividendo il mondo tra persone che vedevano l'abito blu e nero (tra le quali il sottoscritto) e quelle che lo vedevano bianco e oro (metà del mio laboratorio). Chi lo vedeva in un modo era convinto di avere ragione – che l'abito era davvero blu e nero oppure bianco e oro – al punto da ritenere quasi impossibile credere che altre persone lo percepissero diversamente.

Sappiamo bene che i nostri sistemi percettivi possono essere ingannati facilmente, e la popolarità delle illusioni ottiche è una testimonianza di questo fenomeno. Le cose appaiono in un modo, e si rivelano essere in un altro: due linee appaiono di lunghezza diversa, ma quando le misuriamo sono uguali; oppure vediamo in movimento un'immagine che sappiamo essere ferma. La storia che di solito si racconta sulle illusioni è che sfruttano alcune stranezze dei circuiti percettivi, quindi quello che noi percepiamo devia dalla realtà della cosa. Tuttavia, in questa storia è implicito il presupposto per cui un sistema percettivo che funziona nel modo giusto tradurrà per la nostra coscienza le cose precisamente per come sono.

La verità profonda è che la percezione non è mai una finestra diretta su una realtà oggettiva: le nostre percezioni sono costruzioni attive, sono le ipotesi migliori derivanti dal cervello sulla natura di un mondo immancabilmente oscurato da un velo sensoriale. Le illusioni visive sono fratture nella Matrix, barlumi fuggevoli in questa verità più profonda.

Illustrazione di Brook VanDevelder

Prendiamo l'esperienza del colore, per esempio il rosso vivace della tazzina di caffè sulla mia scrivania. La tazzina appare realmente rossa: la sua rossezza sembra reale come la sua rotondità e la sua solidità. Questi aspetti della mia esperienza sembrano davvero proprietà esistenti del mondo, rilevate dai nostri sensi e rivelate alla nostra mente tramite i meccanismi complessi della percezione.

Eppure, dai tempi di Isaac Newton sappiamo che i colori non esistono, là fuori nel mondo; sono invece inventati dal cervello a partire da mescolanze di lunghezze d'onda differenti di una radiazione elettromagnetica che è senza colore. I colori sono un trucco ingegnoso escogitato dall'evoluzione per aiutare il cervello a tenere traccia delle superfici al mutare delle condizioni di illuminazione. E noi esseri umani possiamo percepire solo una fetta sottile dell'intero spettro elettromagnetico, annidato tra il minimo dell'infrarosso e il massimo dell'ultravioletto. Ogni colore che percepiamo, ogni parte della totalità di ciascuno dei nostri mondi visivi, proviene da questa sottile fetta di realtà.

Questa semplice conoscenza è sufficiente per dirci che l'esperienza percettiva non può essere una rappresentazione esauriente di un mondo esterno oggettivo; che è, insieme, più e meno di tutto questo. La realtà che noi sperimentiamo – come le cose appaiono – non è un riflesso diretto delle cose che sono realmente là fuori. È una costruzione ingegnosa del cervello per il cervello. E se il mio cervello è differente dal vostro, anche la mia realtà potrebbe essere differente dalla vostra.

## Il cervello predittivo

Nell'allegoria della caverna di Platone, alcuni prigionieri sono incatenati fin dalla nascita nella profondità di una caverna, appunto, e così vedono solo un gioco di ombre proiettate da oggetti che passano davanti a un fuoco posto alle loro spalle; attribuiscono poi alle ombre dei nomi perché, per loro, le ombre sono la realtà. Mille anni dopo, ma pur sempre ancora mille anni fa, lo studioso arabo Hasan Ibn al-Haytham (conosciuto anche come Alhazen) scrisse che la percezione, nel qui e ora, dipende da processi di «giudizio e inferenza», e che non implica l'accesso diretto a una realtà oggettiva. Qualche centinaio di anni dopo Immanuel Kant realizzò che il caos dei dati sensoriali illimitati rimarrebbe per sempre privo di senso se non ricevesse una struttura da concezioni preesistenti, o «credenze», che comprendevano, per lui, schemi a priori come lo spazio e il tempo. Il termine di Kant «noumeno» si riferisce alla cosa in sé – *Ding an sich* – una realtà oggettiva che sarà per sempre inaccessibile alla percezione umana.

Oggi queste idee hanno ricevuto un nuovo impulso da un insieme influente di teorie centrate sull'idea che il cervello sia una sorta di macchina delle previsioni, e che la percezione del mondo – e dell'io al suo interno – sia un processo di previsione basato sul cervello circa le cause dei segnali sensoriali.

Queste nuove teorie si fanno risalire in genere al fisico e fisiologo tedesco Hermann von Helmholtz, il quale sul finire dell'Ottocento propose la teoria secondo cui la percezione sarebbe un processo di inferenza inconscia. Verso la fine del secolo scorso l'idea di von Helmholtz è stata ripresa dagli scienziati cognitivi e dagli studiosi di intelligenza artificiale, che l'hanno riformulata nei termini di quella che oggi è generalmente conosciuta come codifica, o elaborazione, predittiva.

L'idea centrale della percezione predittiva è che in ogni momento il cervello cerca di capire che cosa c'è là fuori nel mondo (o qui dentro nel corpo) facendo e aggiornando di continuo le ipotesi migliori sulle cause dei suoi input sensoriali. Il cervello forma le ipotesi combinando aspettative a priori sul mondo, o «credenze», con i segnali sensoriali in entrata in modo da tenere conto del grado di attendibilità dei segnali stessi. Gli scienziati concepiscono questo processo come una forma di inferenza bayesiana, un quadro che specifica come aggiornare credenze o ipotesi migliori con i nuovi dati quando entrambe sono cariche di indeterminazione.

Nelle teorie della percezione predittiva, il cervello approssima questo tipo di inferenza bayesiana generando di continuo previsioni sui segnali sensoriali e confrontando queste previsioni con i segnali sensoriali che raggiungono occhi e orecchie (e naso e punta delle dita, e ogni altra superficie sensoriale, esterna e interna al corpo). Le differenze tra i segnali sensoriali previsti e i segnali reali generano i cosiddetti errori di previsione, che il cervello usa per aggiornare le sue previsioni, predisponendolo alla tornata successiva di input sensoriali. Cercando di rendere minimi gli errori di previsione sensoriale ovunque e in ogni istante, il cervello adotta un'inferenza bayesiana approssimativa, e l'ipotesi bayesiana migliore risultante è quello che noi percepiamo.

**Quella che chiamiamo allucinazione è una forma di percezione incontrollata, proprio come la percezione normale è una forma controllata di allucinazione**

Per capire quanto radicalmente questa prospettiva cambia le nostre intuizioni sulle basi neurologiche della percezione, è utile pensare in termini di direzione dal basso verso l'alto (*bottom-up*) e dall'alto verso il basso (*top-down*) del flusso dei segnali nel cervello. Se supponiamo che la percezione sia una finestra diretta su una realtà esterna, allora è naturale pensare che il contenuto della percezione sia trasmesso da segnali bottom-up, quelli che scorrono dalle superfici sensoriali verso l'interno. I segnali top-down potrebbero contestualizzare o perfezionare quello che è percepi-

**Anil K. Seth** è professore di neuroscienze cognitive e computazionali all'Università del Sussex, nel Regno Unito, e condirettore del Sackler Center for Consciousness Science nella stessa università. Le sue ricerche riguardano le basi biologiche della coscienza.

IN BREVE

**La realtà che percepiamo** non è un riflesso diretto del mondo oggettivo esterno.

**Essa è invece il prodotto** delle previsioni del cervello sulle cause dei segnali sensoriali in entrata.

**La proprietà della realtà** che accompagna le nostre percezioni potrebbe servire per guidare il nostro comportamento, in modo da rispondere appropriatamente alle fonti dei segnali sensoriali.

**La fotografia di un vestito,** con una cattiva esposizione, appare blu e nera ad alcune persone, e bianca e oro ad altre.

Swiked.tumblr.com

to, ma nulla più. La chiameremo idea di «come le cose sembrano», perché si ha la sensazione che il mondo si stia rivelando a noi direttamente attraverso i nostri sensi.

Lo scenario della macchina di previsioni è assai differente. Qui il grosso del lavoro percettivo lo svolgono segnali top-down che trasmettono previsioni percettive, mentre il flusso sensoriale bottom-up si limita a calibrare queste previsioni, tenendole al giogo delle loro cause nel mondo in modi appropriati. Secondo questa visione, le nostre percezioni provengono dall'interno altrettanto, se non di più, che dall'esterno. Invece di essere una registrazione passiva di una realtà oggettiva esterna, la percezione emerge come un processo di costruzione attiva: un'allucinazione controllata, come ha finito per essere conosciuta.

Perché allucinazione controllata? Ebbene, siamo soliti pensare alle allucinazioni come a una sorta di falsa percezione, in chiaro contrasto con la percezione normale, quella veridica, fedele alla realtà. La macchina delle previsioni, o *prediction machine*, suggerisce invece una continuità tra allucinazione e percezione normale. Dipendono entrambe da un'interazione tra previsioni top-down, che hanno la loro base nel cervello, e dati sensoriali bottom-up. Tuttavia durante le allucinazioni i segnali sensoriali non conservano più il corretto legame tra queste previsioni e le loro cause nel mondo. Dunque, quella che noi chiamiamo allucinazione è solo una forma di percezione incontrollata, proprio come la percezione normale è una forma controllata di allucinazione.

Questa idea di percezione non significa che nulla è reale. Scrivendo nel XVII secolo, il filosofo inglese John Locke fece una distinzione intellettuale tra qualità «primarie» e qualità «secondarie». Le qualità primarie di un oggetto, come la solidità o l'occupazione dello spazio, esistono indipendentemente da un soggetto che le percepisca; invece le qualità secondarie esistono solamente in relazione a un soggetto che le percepisca, e il colore ne è un buon esempio. Questa distinzione spiega perché concepire la percezione come un'allucinazione controllata non significa che vada bene saltare davanti a un autobus in arrivo. Questo autobus ha proprietà primarie di solidità e di occupazione dello spazio che esistono indipendentemente dalla nostra macchina percettiva e che possono crearci seri danni. Il bus come ci appare è un'allucinazione controllata, non il bus in sé.

## Due passi nel laboratorio

Un numero crescente di prove sostiene l'idea che la percezione sia un'allucinazione controllata, almeno a grandi linee. Un esempio clamoroso lo offre uno studio condiotto nel 2015 da Christoph Teufel e colleghi all'Università di Cardiff, in Galles. In questo studio, alcuni pazienti affetti da psicosi a uno stadio precoce, e che erano soggetti ad allucinazioni, sono stati confrontati con individui normali riguardo alla loro capacità di riconoscere le cosiddette immagini a due tonalità.

Provate a guardare l'immagine a p. 47, un esempio di immagine a due tonalità. Probabilmente vedrete solo un insieme di macchie bianche e nere. Ora che avete letto il resto di questa frase, guardate l'immagine a p. 49. Riguardate poi la prima foto. Ora dovrebbe apparirvi ben diversa: dove prima c'erano macchie alla rinfusa, ora ci sono oggetti distinti, e qualcosa sta succedendo.

La cosa che a me pare notevole in questo test è che alla vostra seconda analisi della foto a p. 47, i segnali sensoriali che raggiungono i vostri occhi non sono affatto cambiati dalla prima volta che l'avete vista. Sono cambiate invece le previsioni del vostro cervello sulle cause di questi segnali sensoriali: avete acquisito una nuova aspettativa percettiva di livello elevato, ed è questa che cambia quello che voi vedete coscientemente.

Se mostrate ad altre persone molte di queste immagini a due tonalità, ciascuna seguita dalla figura completa, in seguito potrebbero riuscire a identificare una buona percentuale di immagini a due tonalità, sebbene non tutte. Nello studio di Teufel, i soggetti con una psicosi a uno stadio precoce riconoscevano meglio dei soggetti di controllo normali le immagini a due tonalità dopo avere visto l'immagine piena. In altre parole, la propensione alle allucinazioni andava di pari passo con gli a priori percettivi, che avevano un effetto più intenso sulla percezione. È proprio quanto ci si aspetterebbe se le allucinazioni da psicosi dipendessero da un sovraccarico di a priori percettivi, e quindi questi prevalessero sugli errori di previsione sensoriale, svincolando le ipotesi migliori dalle loro cause nel mondo.

Ricerche recenti hanno rivelato altri aspetti di questa storia. Phil Corlett, della Yale University, e colleghi hanno abbinato luci e suoni in un semplice esperimento su alcuni volontari mira-

# Origini della percezione

La concezione classica della percezione (*in blu*) sostiene che sia una finestra diretta su una realtà esterna. Segnali sensoriali scorrono dal basso, entrando nel cervello tramite recettori in occhi, orecchie, naso, lingua e pelle, per rivelarci il mondo esterno per quello che è. I segnali verso il basso all'interno del cervello si limiterebbero a raffinare l'oggetto della percezione. Viceversa, nella concezione della macchina di previsione (*in verde*) il contenuto percettivo è trasmesso da previsioni verso il basso, fatte dal cervello in base a esperienze precedenti. I segnali dal basso funzionano soprattutto per trasmettere errori di previsione, che controllano le ipotesi del cervello. In questo modello la percezione è un'allucinazione controllata.

**Modello classico**

Contesto: cibo

Segnali dall'alto

Segnali forti dal basso

Input sensoriale: mela

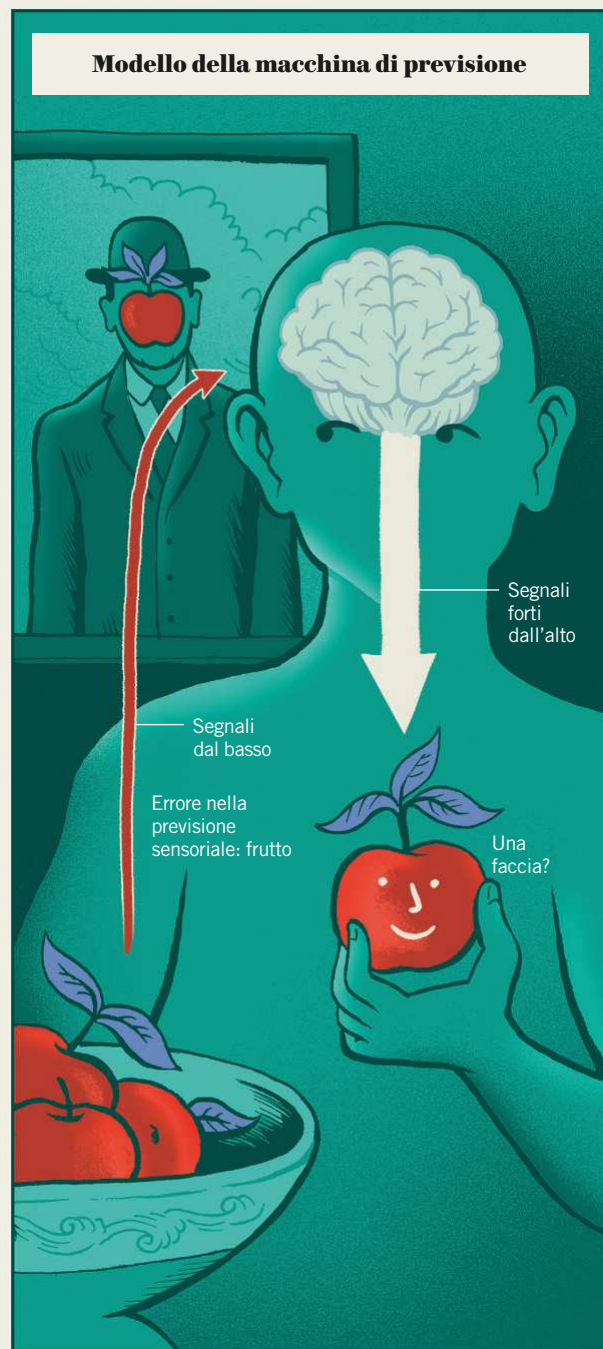
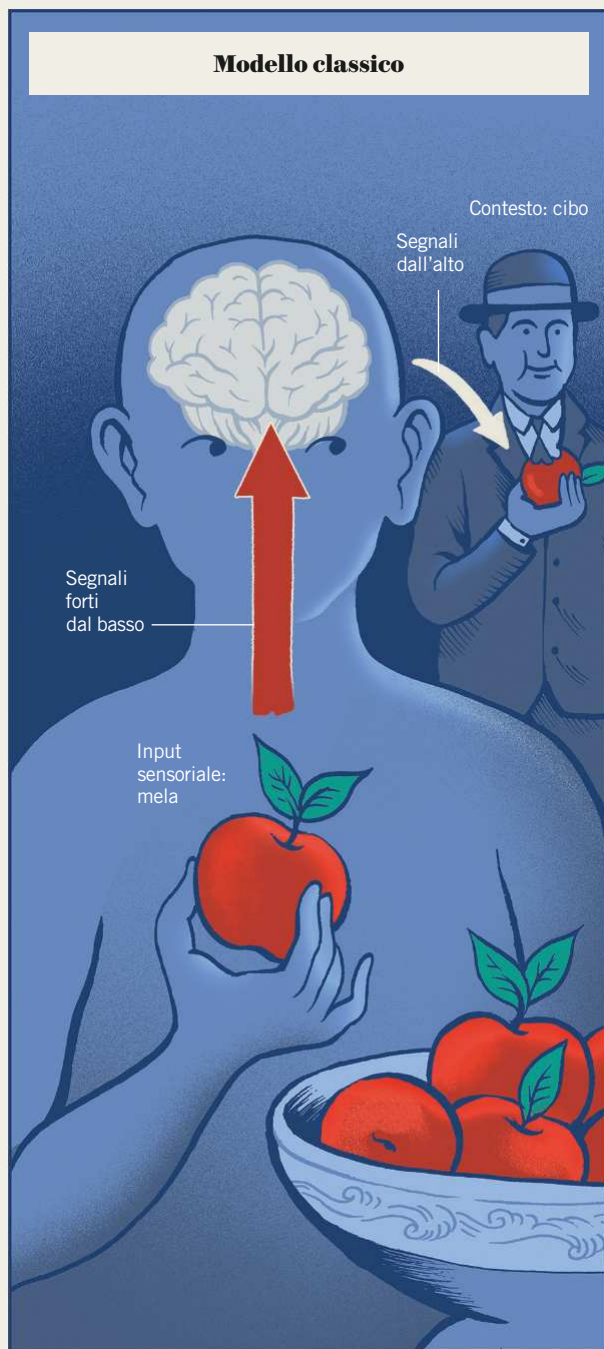
**Modello della macchina di previsione**

Segnali forti dall'alto

Segnali dal basso

Errore nella previsione sensoriale: frutto

Una faccia?

Illustrazione di Matteo Farinella

**Questa immagine** a due tonalità appare come un caos di macchie in bianco e nero, fino a quando non avrete visto l'immagine completa a p. 49.

Richard Armstrong/Getty Images

to a indurre aspettative sulla comparsa, o meno, di una luce in un dato test. Gli autori hanno combinato questo esperimento con l'*imaging* cerebrale per svelare alcune delle regioni cerebrali coinvolte nella percezione predittiva. Quando hanno esaminato i dati, Corlett e colleghi hanno identificato alcune regioni – come il solco temporale superiore, situato in profondità nel lobo temporale della corteccia – che erano associate in modo specifico con le previsioni top-down delle sensazioni uditive. È un nuovo ed entusiasmante sviluppo nella mappatura dei fondamenti cerebrali delle allucinazioni controllate.

Nel mio laboratorio abbiamo seguito una strada diversa per esplorare la natura della percezione e dell'allucinazione. Invece di osservare il cervello direttamente, abbiamo simulato l'influsso di a priori percettivi iperattivi usando un dispositivo speciale di realtà virtuale (VR) architettato da Keisuke Suzuki, il mago della VR nel nostro laboratorio. L'abbiamo chiamata, con una buona dose d'ironia, «macchina delle allucinazioni».

Usando una videocamera a 360 gradi, inizialmente abbiamo registrato un video panoramico di una piazza affollata nel campus dell'Università del Sussex, un martedì all'ora di pranzo. Poi abbiamo elaborato il filmato con un algoritmo basato su DeepDream, il programma di intelligenza artificiale (IA) di Google, e generato un'allucinazione simulata. Quello che succede è che l'algoritmo prende una cosiddetta rete neurale – un elemento infaticabile dell'IA – e la fa funzionare a ritroso. La rete che abbiamo usato era stata addestrata a riconoscere oggetti presenti in immagini; così, facendola procedere a ritroso, aggiornando l'input della rete invece del suo output, la rete proietta in realtà quello «pensa» vi sia nell'immagine. Le sue previsioni prevalgono largamente sugli input sensoriali, spostando l'equilibrio dell'ipotesi percettiva migliore verso queste previsioni. La nostra rete era brava nel classificare razze differenti di cani, così il video è diventato insolitamente pervaso dalla presenza di questi animali.

Molte persone che hanno visto il filmato elaborato attraverso il visore VR hanno commentato che l'esperienza faceva pensare alla fenomenologia prorompente dei viaggi psichedelici più che ad allucinazioni da psicosi.

Attivando la macchina delle allucinazioni in modi appena diversi, abbiamo generato tipi differenti di esperienza cosciente. Per esempio, far funzionare a ritroso la rete neurale da uno dei suoi strati intermedi, invece che dallo strato di uscita, genera allucinazioni di parti di oggetti, anziché di oggetti interi. Se guardiamo al futuro, questo metodo ci permetterà di abbinare tratti specifici dell'architettura computazionale della percezione predittiva ad aspetti specifici delle esperienze allucinatorie. E capendo meglio le allucinazioni saremo nelle condizioni per capire meglio anche l'esperienza normale, perché la percezione predittiva è alla radice di ogni nostra esperienza percettiva.

### La percezione della realtà

Sebbene la macchina delle allucinazioni sia indubbiamente «intrippata», le persone che la sperimentano sono pienamente consapevoli di sperimentare qualcosa di non reale. In effetti, nonostante i rapidi progressi nella tecnologia VR e nella computer grafica, nessun dispositivo per la VR trasmette un'esperienza così convincente da essere indistinguibile dalla realtà.

Questa è la sfida che ci ha impegnato nella progettazione di un nuovo dispositivo di «realtà sostitutiva» all'Università del Sussex, quello a cui stavamo lavorando quando papa Francesco è andato in ritiro con Salva Kiir Mayardit e Riek Machar Teny Dhurgon. Il nostro obiettivo era creare un sistema in cui soggetti volontari sperimentassero un ambiente come reale – e che tale lo credessero – quando in effetti reale non era.

L'idea di fondo è semplice. Avevamo registrato altri video panoramici. Questa volta dell'interno del nostro laboratorio per la VR, non di una scena all'aperto del campus. Le persone che arrivava-

COME UN PALEOBIOLOGO
CERCA LE RISPOSTE

## L'unità fondamentale di verità in paleobiologia è il fossile

– una chiara documentazione di vita del passato – ma sfruttiamo anche le prove genetiche di organismi viventi, che ci aiutano a collocare i fossili nell'albero della vita. Insieme, ci aiutano a capire come queste creature sono cambiate e quale relazione di parentela c'è tra loro. Poiché esaminiamo animali estinti, vissuti in ecosistemi più ampi, raccogliamo informazioni da altri campi: l'analisi chimica delle rocce circostanti per avere un'idea dell'età del fossile, dove potrebbero essere state le masse continentali a quell'epoca; quale tipo di cambiamento ambientale era in atto, e così via.

Per scoprire i fossili, perlustriamo il territorio per scoprirli tra le rocce. Potete cogliere la differenza tra un fossile e una qualsiasi roccia antica da forma e struttura interna. Per esempio, un osso fossile avrà minuscoli cilindri, detti osteoni, dove un tempo il sangue scorreva lungo l'osso. Alcuni fossili sono evidenti: una gamba di dinosauro è un osso completo, gigantesco. Ma anche frammenti più piccoli possono essere eloquenti. Nel caso dei mammiferi – il mio oggetto di studio – possiamo imparare molte cose dalla forma di un singolo dente. E possiamo combinare questa informazione con la genetica, usando campioni di DNA da creature viventi che pensiamo siano imparentate con i fossili, sulla base dell'anatomia e di altri indizi.

Facciamo queste indagini non solo per ricostruire mondi passati, ma anche per capire che cosa possono insegnarci sul mondo attuale. Per esempio, 55 milioni di anni fa ci fu un enorme picco di temperatura. Nulla di simile a oggi, eppure abbiamo trovato cambiamenti radicali in animali e piante di quell'era. Possiamo confrontare questi cambiamenti per capire come creature imparentate potrebbero reagire all'attuale cambiamento climatico.

*Anjali Goswami è professore e* research leader *al Natural History Museum di Londra; testo raccolto da Brooke Borel*

no in laboratorio erano fatte sedere al centro della stanza e veniva fatto loro indossare un visore per la VR, con una videocamera anteriore. Erano invitate a guardarsi intorno nella stanza e a vedere, con la videocamera, come era la stanza in quel momento. All'improvviso però, senza avvertirli, commutavamo il segnale video: a quel punto il dispositivo visualizzava non più la scena del mondo reale dal vivo, ma il video panoramico preregistrato. In questa situazione, buona parte dei soggetti continuava a sperimentare come reale quello che vedeva, anche se si trattava di una preregistrazione finta. In realtà è qualcosa di molto complicato da realizzare, perché richiede un bilanciamento del colore e un allineamento accurati, per evitare che i volontari si accorgano di qualche differenza che potrebbe allertarli del cambiamento.

Trovo questo risultato affascinante perché dimostra come sia possibile indurre le persone a sperimentare un ambiente non reale come se lo fosse pienamente. Questa semplice dimostrazione apre nuove frontiere alla ricerca con la VR: possiamo verificare i limiti di quello che le persone potranno sperimentare, e credere, come reale. Inoltre ci permette di indagare come il fatto di sperimentare le cose come se fossero reali influenzi altri aspetti della percezione. Attualmente stiamo svolgendo un esperimento per scoprire se le persone sono meno brave nel percepire cambiamenti inattesi nella stanza quando loro stesse credono che quello che stanno sperimentando sia reale. Se le cose andranno così (lo studio è in corso), il risultato alimenterebbe l'idea per cui la percezione delle cose come reali agisce in qualità di un a priori di alto livello che può sostanzialmente modellare le nostre ipotesi percettive ottimali, influendo sul contenuto di quello che percepiamo.

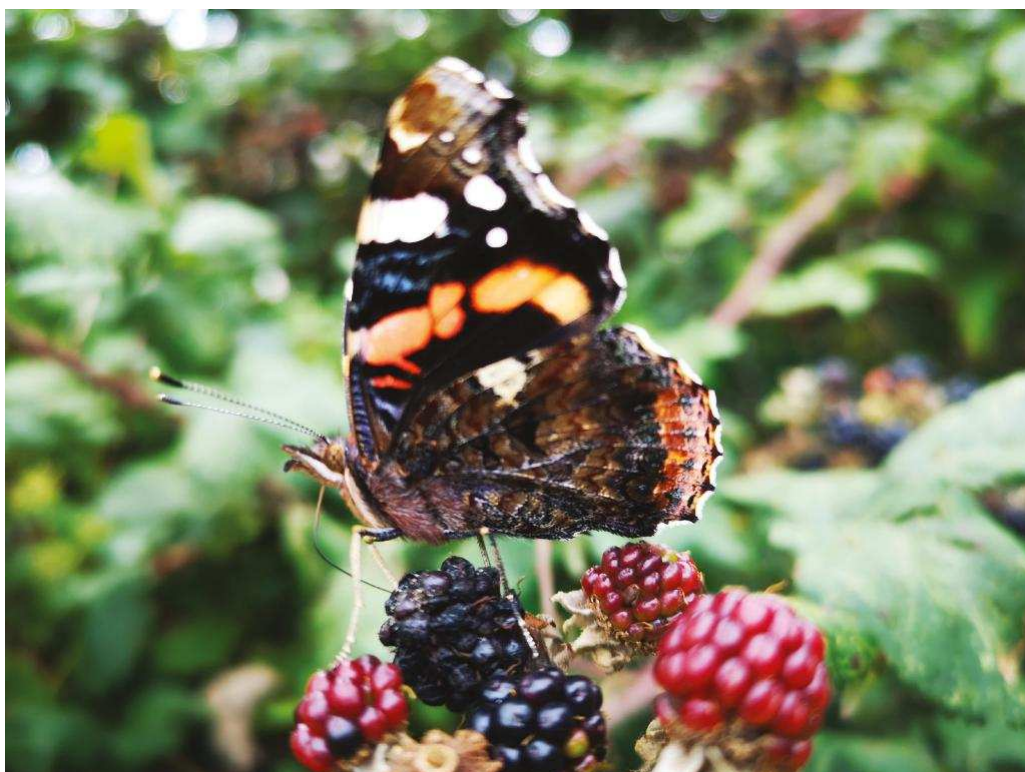
### La realtà della realtà

L'idea che il mondo della nostra esperienza possa non essere reale è un tema ricorrente della filosofia e della fantascienza, come pure delle discussioni da bar, a ora tarda. Nel film *Matrix*, Neo prende la pillola rossa, e Morfeo gli mostra che quello che lui pensava fosse reale è, invece, un'elaborata simulazione: il Neo reale giace invece in un fabbrica di corpi umani, un cervello in un vaso di vetro come fonte di energia per un'IA distopica. Il filosofo Nick Bostrom, dell'Università di Oxford, ha fatto scalpore quando ha affermato, basandosi soprattutto sulla statistica, che probabilmente noi viviamo in una simulazione al computer creata in un'epoca postumana. Non condivido questo argomento. Presuppone che la coscienza si possa simulare – non credo sia una ipotesi fondata – ma è comunque intellettualmente stimolante.

Sebbene siano divertenti spunti di riflessione, questi impegnativi argomenti metafisici sono forse impossibili da risolvere. Invece quello che abbiamo esplorato in questo articolo è la relazione tra apparenza e realtà delle nostre percezioni coscienti, dove una parte di questa apparenza è l'apparenza di essere reali in sé.

L'idea centrale è che la percezione sia un processo di inferenza attiva orientata all'interazione adattativa con il mondo tramite il corpo, invece che una ricreazione del mondo dentro la mente. I contenuti dei nostri mondi percettivi sono allucinazioni controllate, le ipotesi migliori di natura cerebrale sulle cause sostanzialmente inconoscibili dei segnali sensoriali. E molti di noi, per buona parte del tempo, percepiscono come reali queste allucinazioni controllate. Come mi ha suggerito il *rapper* e comunicatore di scienza canadese Baba Brinkman, quando concordiamo sulle nostre allucinazioni, forse quella è ciò che chiamiamo realtà.

Ma non sempre concordiamo, e non sempre sperimentiamo le cose come reali. Le persone affette da problemi psichiatrici di

Illustrazione di Bud Cook

**Mutamento percettivo:** guardare questa fotografia modifica quello che vediamo consciamente nell'immagine a due tonalità a p. 47.

dissociazione, come il disturbo di derealizzazione o di depersonalizzazione, riferiscono che il loro mondo percettivo, addirittura il loro stesso sé, manca di un senso di realtà. Alcune forme di allucinazione, tra cui varie allucinazioni psichedeliche, combinano un senso di irrealtà con una vividezza percettiva, come nei sogni lucidi. Le persone affette da sinestesia vivono sistematicamente esperienze sensoriali aggiuntive, per esempio percepiscono colori guardando lettere nere, che loro riconoscono come non reali. Addirittura nella percezione normale, se guardate direttamente il Sole sperimenterete la successiva immagine residua retinica come non reale. Ci sono molti di questi modi in cui sperimentiamo le nostre esperienze come non pienamente reali.

Per me il senso di tutto questo è che la proprietà del realismo presente in buona parte delle nostre percezioni non dovrebbe essere data per scontata. È un altro aspetto del modo in cui il nostro cervello decide sulle ipotesi bayesiane migliori riguardo alle sue cause sensoriali. Potremmo quindi chiederci: qual è il suo scopo? La risposta è che forse un'ipotesi percettiva ottimale, che include la proprietà di essere reale, è in genere più idonea allo scopo – vale a dire, più capace di guidare il comportamento – di un'ipotesi che non la include. Ci comportiamo in modo più appropriato rispetto a una tazzina di caffè, a un bus che si avvicina e allo stato mentale del nostro partner quando li sperimentiamo come realmente esistenti.

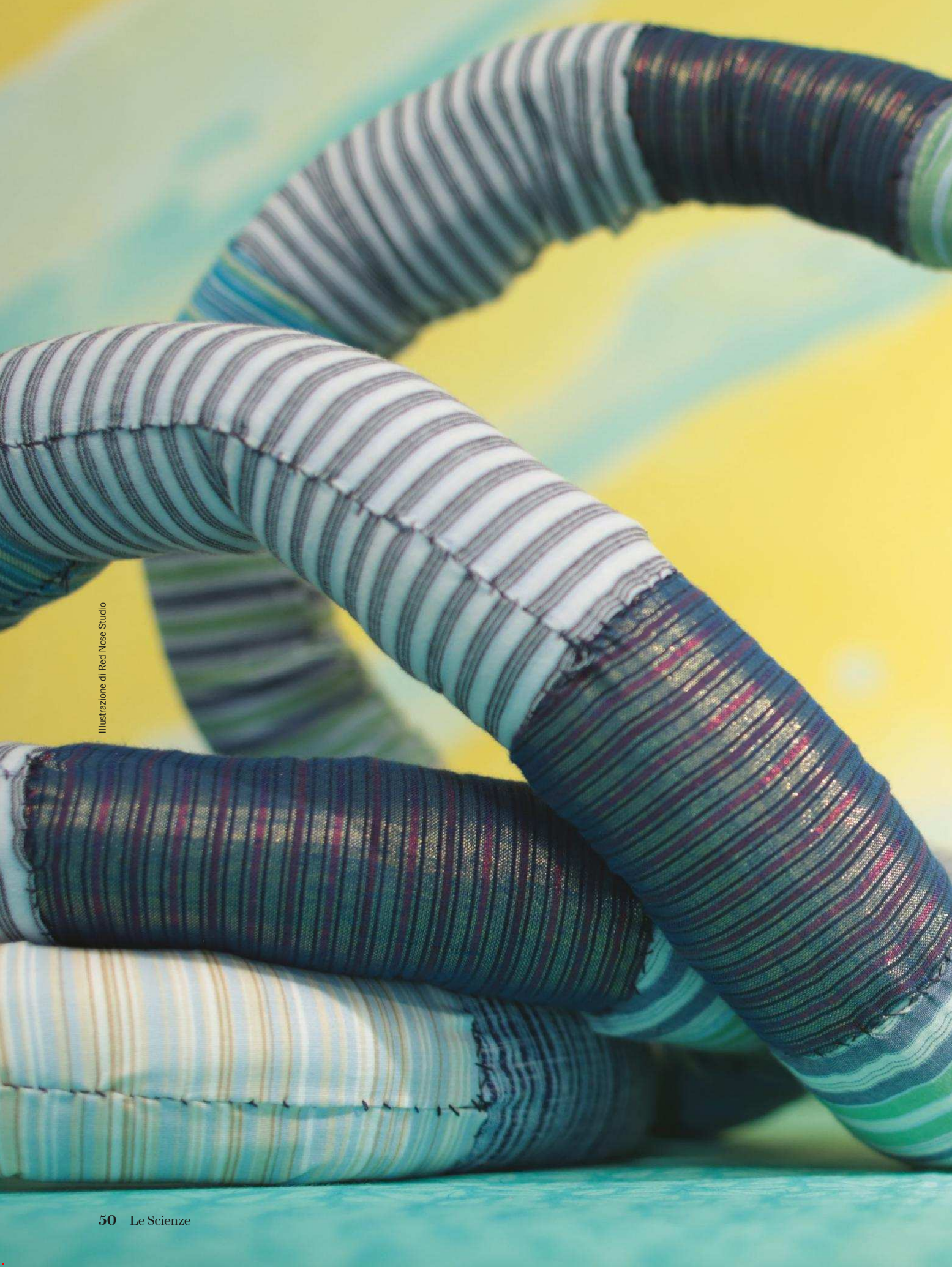
Ma per questo paghiamo un piccolo scotto. Come dimostra l'illusione del vestito, quando sperimentiamo le cose come reali si riduce la nostra capacità di riconoscere che i nostri mondi percettivi possono essere diversi da quelli degli altri. Secondo la spiegazione dominante delle percezioni discordanti del vestito, le persone che trascorrono buona parte delle ore da sveglie alla luce del giorno lo vedono bianco e oro; invece gli animali notturni, i tiratardi, più esposti alla luce artificiale come sono, lo vedono blu e nero. E se anche inizialmente queste differenze sono minime, possono radicarsi e rinforzarsi via via che raccogliamo informazioni in modo differente, selezionando i dati sensoriali più in linea con i nostri modelli individuali emergenti del mondo, e aggiornando poi i nostri modelli percettivi basandoci su questi dati distorti. Abbiamo familiarità con questo processo dalle casse di risonanza dei *social media* e dei quotidiani che scegliamo di leggere. Intendo dire che gli stessi principi valgono anche a un livello più profondo, al di sotto delle nostre convinzioni sociali e politiche, fino al cuore stesso della trama delle nostre realtà percettive. Potrebbero valere addirittura per la nostra percezione di essere un sé – l'esperienza di essere io invece di te – perché l'esperienza di essere un sé è essa stessa una percezione.

Questo è il motivo per cui la comprensione dei meccanismi costruttivi, o se volete creativi, della percezione ha una rilevanza sociale imprevista. Forse una volta che potremo apprezzare meglio la diversità delle realtà sperimentate diffuse tra i miliardi di cervelli di questo pianeta, scopriremo nuove piattaforme su cui erigere una comprensione condivisa e un futuro migliore: che riguardi le fazioni in una guerra civile, i sostenitori di partiti politici differenti o due persone che condividono una casa e discutono su a chi tocca lavare i piatti. ■


PER APPROFONDIRE

**Shift toward Prior Knowledge Confers a Perceptual Advantage in Early Psychosis and Psychosis-Prone Healthy Individuals.** Teufel C. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 112, n. 43, pp. 401-413, 27 ottobre 2015.

**A Deep-Dream Virtual Reality Platform for Studying Altered Perceptual Phenomenology.** Suzuki K. e altri, in «Scientific Reports», Vol. 7, articolo n. 15982, 22 novembre 2017.

**Being a Beast Machine: The Somatic Basis of Selfhood.** Seth A. e Tsakiris M., in «Trends in Cognitive Sciences», Vol. 22, n. 11, pp. 969-981, 1 novembre 2018.

# BUGIE

PARTE 2


PAGINA 52 **Inganni nel mondo animale**
*di Barbara J. King*

PAGINA 57 **Perché ci fidiamo delle bugie**
*di Cailin O'Connor e James Owen Weatherall*

PAGINA 64 **Disonestà contagiosa**
*di Dan Ariely e Ximena Garcia-Rada*

PAGINA 69 **Come imbrogliare la democrazia**
*di J. Alex Halderman; testo raccolto da Jen Schwartz*

ETOLOGIA

# Inganni nel mondo animale

## *Homo sapiens* non è la sola specie a mentire. Nel regno animale, la disonestà abbonda.

*di Barbara J. King*

**Di questi tempi il mondo animale sembra tutto zucchero e miele. Le prove dell'esistenza di collaborazione e compassione tra le creature che nuotano, volano e camminano hanno catturato l'immaginazione del pubblico. Nell'oceano, le cernie, i labridi e gli anguilliformi formano squadre multispecie in cui tutti lavorano insieme per snidare e consumare le prede in battute di caccia collaborative. In cielo due specie di scricciolo, *Malurus lamberti* e *Malurus splendens,* si riconoscono, formano coppie stabili e insieme difendono boscaglie di eucalipto. Nel pollame, le galline danno segni di angoscia empatica vedendo i propri pulcini in uno stato di leggera sofferenza. Gli scimpanzé si affrettano a consolare chi ha perso in una lotta, anche se non avevano partecipato al litigio. E in un atto di sommo sacrificio, i topi rinunciano a una ricompensa di cioccolato per salvare dei compagni costretti a tenersi a galla in una pozza d'acqua.**

Per secoli, gli etologi hanno posto un'enfasi eccessiva sul ruolo del conflitto e della violenza tra gli animali. L'attenzione oggi riservata alla gentilezza e all'attenzione è un correttivo necessario di questa antica idea di una natura «rossa di zanne e d'artigli», per usare le parole del poeta Alfred Tennyson. Eppure, proprio mentre andiamo in estasi per la dolcezza del mondo animale, corriamo il rischio di esagerare dalla parte opposta, occultando parte della storia. Molti animali mettono in atto campagne di disinformazione rivolte ad altri membri della stessa specie, o anche di specie diverse: imbrogliano, truffano e mentono con comportamenti manifestamente ingannevoli.

### Un inganno intenzionale

Negli animali diversi dall'uomo, l'inganno è definito come l'invio di falsi segnali nel tentativo di modificare il comportamento di un altro animale in modi vantaggiosi per il mittente. Le seppie sono vere e proprie maestre. Imparentate con il polpo, hanno la capacità di cambiare rapidamente colore grazie ai cromatofori, cellule del derma contenenti dei pigmenti. Questa capacità di camuffarsi può rendere l'accoppiamento tra seppie piuttosto turbolento. Nel 2017 un gruppo di biologi marini diretti da Justine Allen, della Brown University, ha riferito di aver osservato la scena seguente durante un'immersione nel Mare Egeo, al largo della Tur-

IN BREVE

**Gli esseri umani** non sono gli unici a mentire. Abbiamo scoperto che molti animali mettono in atto campagne di disinformazione.

**Gli animali possono ingannare** i membri della propria specie o di altre specie con il camuffamento o il mimetismo.

**Quando questi falsi segnali** sono intenzionali, si parla di inganno tattico, una strategia impiegata da creature che vanno dai cani alle seppie.

Illustrazione di Lisk Feng

## UN TECNOLOGO SOCIALE ALLA RICERCA DI RISPOSTE

### Nel campo dell'apprendimento automatico, la principale questione epistemologica è:

quanto siamo bravi a testare un'ipotesi?
Gli algoritmi imparano a rilevare strutture e dettagli a partire da insiemi enormi di casi specifici – per esempio, un algoritmo potrebbe imparare a identificare un gatto dopo aver visto migliaia di fotografie di gatti. Finché non avremo una migliore capacità interpretativa, possiamo testare il modo in cui un certo risultato è stato raggiunto usando gli algoritmi. Così facendo, però, evochiamo il fatto che non abbiamo davvero la responsabilità dei risultati ottenuti dai sistemi di deep learning, per non parlare dei loro effetti sulle istituzioni sociali. Inoltre, è possibile che l'apprendimento automatico sia una forma di rifiuto del metodo scientifico, che si propone di scoprire non solo le correlazioni, ma anche i rapporti di causa-effetto? In molti studi di machine learning, la correlazione è diventato il nuovo articolo di fede, a discapito della causalità. E questo solleva questioni concrete sulla verificabilità.
In alcuni casi potremmo star andando indietro. Pensate alla visione industriale e all'identificazione delle emozioni: si tratta di sistemi automatici che, a partire da fotografie di volti, estrapolano i dati per prevedere razza, genere, orientamento sessuale o probabilità di commettere un crimine di una persona. Approcci di questo tipo preoccupano dal punto di vista scientifico e da quello morale, oltre a riecheggiare frenologia e fisiognomica. L'enfasi sulla correlazione dovrebbe farci sospettare, e non poco, sulla nostra capacità di avere qualcosa da dire sull'identità delle persone. È un'affermazione forte ma, se pensiamo ai decenni di ricerche su questi temi nelle scienze umane e sociali, non dovrebbe essere controversa.

*Kate Crawford è distinguished research professor all'Università di New York, dove ha cofondato l'AI Now Institute; è membro del comitato scientifico di «Scientific American»; testo raccolto da Brooke Borel*

**Barbara J. King** è professoressa emerita di antropologia al College of William and Mary in Virginia, negli Stati Uniti. I suoi studi sulle scimmie e le antropomorfe l'hanno portata a investigare le emozioni e l'intelligenza di un ampio ventaglio di specie animali.

chia. Un esemplare maschio di seppia comune si avvicinò a una femmina, la quale si allontanò con aria evidentemente indifferente. Il maschio si mimetizzò con lo sfondo per sei minuti, lasciando la femmina all'oscuro della sua continua presenza. Poi, all'improvviso, saltò fuori e la afferrò, fino a raggiungere la posizione di accoppiamento testa a testa.

Nella specie australiana *Sepia plangon*, l'inganno va ben al di là del camuffamento. Quando un maschio nuota avendo a sinistra una possibile partner e a destra un maschio rivale, usa due segnali che contengono informazioni opposte: dal lato sinistro emette i tipici segnali maschili del corteggiamento; dal lato destro, invece, emette i segnali tipici di una femmina. Al suo rivale, di conseguenza, sembra soltanto una femmina come tante altre. Geniale. E subdolo!

Culum Brown, biologo della Macquarie University di Sydney, e il suo team chiamano questo duplice segnale emesso da *Sepia plangon* «inganno tattico», perché è impiegato intenzionalmente e ha luogo in un contesto specifico (quando un maschio corteggia una femmina in presenza di un solo altro maschio rivale). Tra le tecniche usate dagli animali per ingannare il prossimo, il camuffamento (o criptismo), il mimetismo e l'inganno tattico sono fondamentali; come dimostra l'esempio della seppia australiana, le divisioni tra le categorie non sono nette. Quando il tentativo di imbrogliare è portato avanti intenzionalmente, si parla di inganno tattico, si tratti di camuffamento, di mimetismo o di qualche altro comportamento.

### Inganni a tutto campo

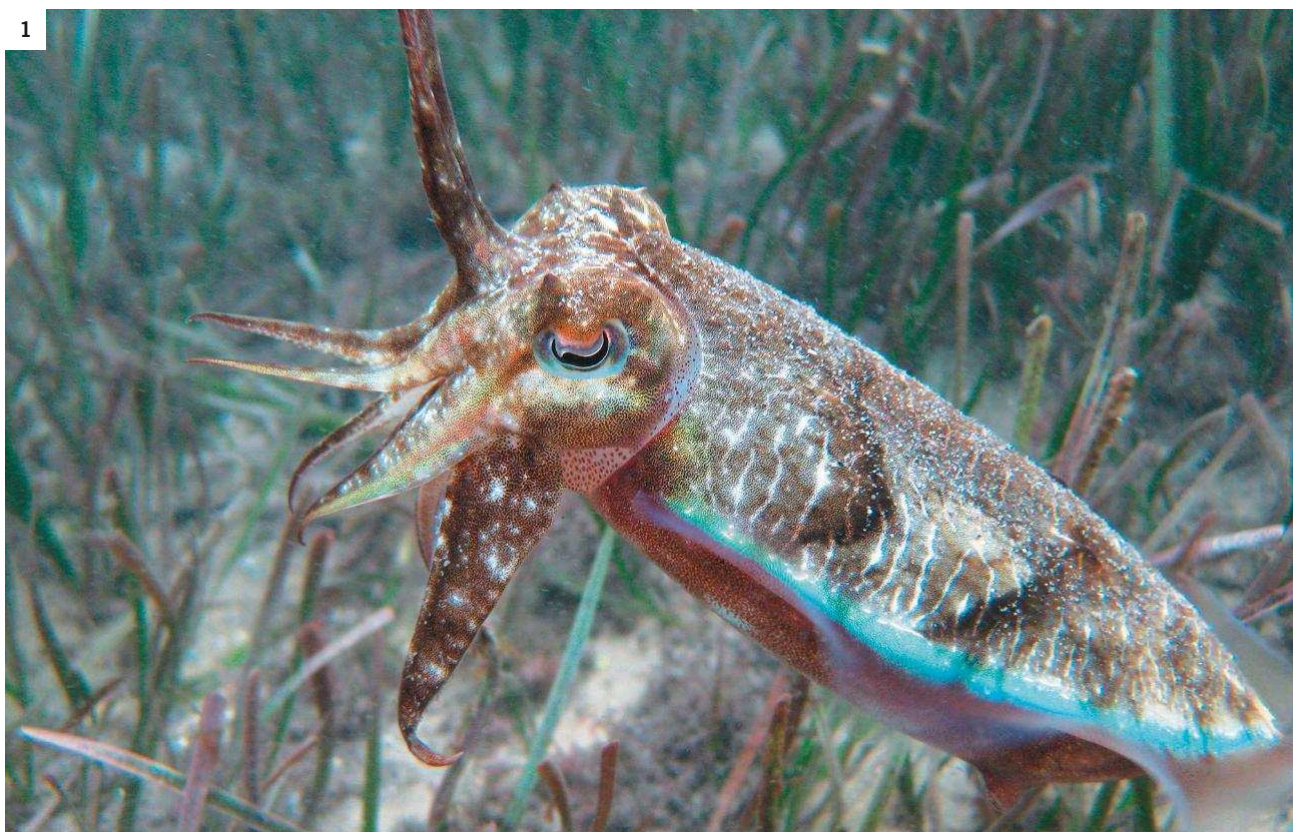
È possibile che noi esseri umani, primati con una netta preferenza per il senso della vista, siamo più predisposti a riconoscere i raggiri basati su false informazioni di tipo visivo. Ma anche gli altri sensi possono essere ingannati. Il drongo codaforcuta è un uccello che vive nel deserto del Kalahari, in Africa; quando avvista un predatore emette segnali di allarme sotto forma di vocalizzazioni. A volte si tratta di segnali sinceri, che vanno a vantaggio non soltanto degli altri dronghi, ma anche dei loro vicini – i garruli bicolori (*Turdoides bicolor*) e i suricati – che quando sentono i richiami dei dronghi cercano di mettersi al sicuro. Altre volte, però, i dronghi non si comportano in modo onesto, e fanno una cosa veramente odiosa.

Può succedere infatti che un drongo, vedendo che un suricato si è impossessato di una preda particolarmente appetitosa, per esempio un geco ben pasciuto, emetta falsi richiami di allarme senza che vi sia alcun predatore. Il suricato, sentendo il segnale, lascia cadere il cibo e si mette al riparo: ecco che allora arriva il drongo, raccoglie il geco e se lo mangia. Lo zoologo Tom P. Flower, oggi alla Capilano University, nello Stato canadese della British Columbia, ha scoperto insieme ai colleghi che il cibo rubato in questo modo costituisce quasi un quarto dell'assunzione di biomassa dei dronghi. Qualsiasi opportunità di aumentare la propria quota di prelibatezze rubate, per questi uccelli, ha assolutamente senso dal punto di vista evoluzionistico.

Illustrazione di Bud Cook

1

2

3

S. Rohrlach Getty Images (1); Alongkot Sumritjearapol Getty Images (2); Trevor Platt Getty Images (3)

**Bugiardi selvaggi:** *Sepia plagon*, (1), il comune moscerino della frutta (2) e il drongo codaforcuta (3) sono tra i molti animali che, si è scoperto, mentono e imbrogliano.

Ma la propensione dei dronghi per la falsità non finisce qui. Nel mondo animale i segnali sinceri sono la norma. Se si offrono troppe informazioni false allo stesso pubblico, i partner sociali dell'imbroglione probabilmente mangeranno la foglia. La sindrome dell'«al lupo, al lupo!», dopo tutto, non vale soltanto per i bambini, ma anche per altri animali. L'evoluzione ha modellato il repertorio canoro dei dronghi di conseguenza: secondo Flowers e i suoi collaboratori, questi uccelli dispongono di almeno 51 falsi allarmi diversi, che alternano nei loro ripetuti tentativi di rubare del cibo. Quando cercano di appropriarsi della preda di una stessa «vittima» per più di una volta, i dronghi cambiano il tipo di grido di allarme quasi il 75 per cento delle volte; spesso, con uno spettacolare atto di tradimento, emettono i vocalizzi tipici della loro stessa vittima. Questa combinazione strategica di mimetismo vocale e inganno tattico lascia i destinatari della truffa nel dubbio, a tutto vantaggio dei dronghi.

Come le seppie, anche questi uccellini hanno tutte le intenzioni di imbrogliare. O, se non altro, questa è l'ipotesi. Ed è un'ipotesi ragionevole, perché in entrambi i casi i falsi segnali non sono trasmessi a casaccio, ma soltanto dopo un'attenta valutazione delle dinamiche sociali degli animali.

Pensando alla propensione per l'inganno intenzionale che abbiamo evoluto noi esseri umani, non sorprende che i nostri parenti viventi più stretti, le scimmie e le antropomorfe, siano i migliori truffatori del mondo animale. Frans de Waal, primatologo della Emory University, ha raccontato che Yeroen, uno scimpanzé dello zoo di Arnhem, in Olanda, zoppicava soltanto in presenza del suo grande rivale Nikkie: si trattava probabilmente di una messinscena destinata a suscitarne le simpatie. Ricerche sistematiche sugli scimpanzé e molti tipi di scimmie mostrano che questi primati escogitano modi innovativi per distrarre e confondere i partner

sociali quando la posta in gioco è il cibo o un possibile compagno che vorrebbero per sé.

Ma la complessità – e l'eleganza – degli inganni degli animali non dipendono dal fatto che ci sia un'intenzione consapevole.

### Truffatori inconsapevoli

Il ragno australiano *Ordgarius magnificus* caccia le falene notturne usando una pallina di seta appiccicaticcia, detta *bola*. Questo aracnide dal nome altisonante è di colore bianco, con varie striature lungo il corpo; per catturare le prede, anziché tessere una tela produce un unico filo di seta con in cima una bola e lo scaglia contro le falene vicine. Ed ecco la magnifica parte machiavellica del piano: la bola emette un feromone che imita l'odore di una falena femmina. Le falene maschio, attirate da questo profumo irresistibile, si avvicinano e vengono intrappolate nell'appiccicosa pallina di seta. I ragni trangugiano la vittima sul momento, oppure la conservano per uno spuntino successivo. Nell'inganno, niente lascia pensare a una strategia pianificata; piuttosto, l'evoluzione ha promosso questo comportamento perché è vantaggioso per il successo riproduttivo del ragno.

Lo stesso meccanismo spiega l'imbroglio messo in atto dai moscerini della frutta. Questi insetti non si vergognano delle loro tendenze cannibalistiche – le larve più giovani sono pronte a cibarsi degli individui più vecchi o feriti – eppure è raro che inghiottano le uova deposte dai loro simili. Il gruppo dell'ecologa Sunitha Narasimha all'Università di Losanna ha scoperto perché. Un feromone essudato dalla madre sigilla le uova, impedendo che ne fuoriescano odori rivelatori; questo, a sua volta, fa sì che i minuscoli cannibali non riescano a identificarle. Si tratta di un modo astuto di mascherare uova che si trovano in bella vista, in una specie non certo famosa per le cure parentali.

**In tutte le specie, lo stesso individuo può comportarsi in modo onesto in certe circostanze e in modo subdolo in altre**

Il sesso e la riproduzione offrono un contesto maturo per la condivisione di falsi segnali. Tra gli uccelli, le femmine del cuculo sono famose per deporre le uova nei nidi di altre femmine e poi tagliare la corda. Le legittime proprietarie del nido sono così portate con l'inganno a prendersi faticosamente cura di una prole non propria. Questo comportamento è diffuso, oltre che nel cuculo, in molte altre specie; il cosiddetto parassitismo di covata conspecifico, che consiste nell'imbrogliare un membro della propria specie deponendo nel suo nido un uovo truffaldino, è praticato da 200 specie di uccelli.

In alcuni casi l'inganno inizia prima ancora che nascano i piccoli. La femmina della trota a volte trema violentemente come se fosse pronta a deporre le uova, anche se così non è. In uno studio del 2001 Erik Petersson e Torbjörn Järvi, all'epoca presso l'Agenzia nazionale svedese per la pesca, definirono questo comportamento sorprendente «falso orgasmo». In risposta, i maschi tratti in inganno emettono sperma, ma non fecondano un bel niente. Perché le femmine impiegano tutta questa energia? Potrebbe essere semplicemente un modo di scoraggiare maschi indesiderati, anche se Petersson e Järvi hanno scoperto una cosa piuttosto interessante: la frequenza dei falsi orgasmi aumentava man mano che le femmine si avvicinavano davvero al momento della deposizione delle uova. È anche possibile, quindi, che le femmine cerchino – riuscendoci – di far eiaculare un gran numero di maschi perché, così facendo, potenziano il vigore della prole.

### Bugiardi domestici

Gli animali possono imbrogliare anche nel nostro stesso focolare domestico. I cani sono lodati per la loro altissima fedeltà, eppure la verità è più complicata. L'etologa Marianne Heberlein dell'Università di Zurigo ha fatto interagire dei cani domestici con due donne: una, chiamiamola signora Amica, condivideva il cibo con loro, mentre la signora Nemica non condivideva niente e teneva il cibo per sé. I cani potevano portare la propria partner verso un cibo preferito, un cibo non preferito oppure un posto senza cibo. Il primo giorno i cani portavano la signora Amica più spesso nel luogo con il cibo preferito. Il secondo avevano compreso meglio la situazione: ora portavano la signora Nemica meno spesso nel posto con il cibo preferito e, in sua presenza, inibivano il proprio comportamento di ricerca del cibo preferito.

Come sa chiunque abbia vissuto insieme ai cani, questi animali non sono bravi a rinunciare ai cibi preferiti. In questo esperimento, a quanto pare, i cani volevano migliori probabilità di ottenere il cibo desiderato più tardi, e sapevano che imbrogliando l'egoista signora Nemica potevano aumentare le proprie chances. Secondo Heberlein, è anche possibile che agli animali non piacesse l'idea che un essere umano non gradito ricevesse un piatto speciale. Non importa la motivazione: quello dei cani era un esempio di inganno tattico.

Che cosa ne dobbiamo dedurre? Che se ci comportiamo bene con i cani loro, naturalmente, si comporteranno bene con noi. In un'ottica più ampia, che nel mondo animale la falsità può essere messa in atto con consapevolezza e, a volte, anche con un certo piacere. Per questo motivo, possiamo in parte vedere qualcosa di noi nei cani o nelle seppie che emettono falsi segnali per accoppiarsi e negli uccelli che imbrogliano per rubare il cibo. In tutte le specie – compresi quegli animali che ingannano senza un intento premeditato – lo stesso individuo può comportarsi in modo onesto in certe circostanze e subdolo in altre. Questa natura da Giano Bifronte potrebbe suonare familiare anche a noi. ■

#### PER APPROFONDIRE


**«False Orgasm» in Female Brown Trout: Trick or Treat?** Petersson E. e Järvi T., in «Animal Behaviour», Vol. 61, n. 2, pp. 497-501, febbraio 2001.

**It Pays to Cheat: Tactical Deception in a Cephalopod Social Signalling System.** Brown C. e altri, in «Biology Letters», Vol. 8, n. 5, pp. 729-732, 23 ottobre 2012.

**Deception by Flexible Alarm Mimicry in an African Bird.** Flower T.P. e altri, in «Science», Vol. 344, pp. 513-516, 2 maggio 2014.

**Chimpanzees Strategically Manipulate What Others Can See.** Karg K. e altri, in «Animal Cognition», Vol. 18, n. 5, pp. 1069-1076, settembre 2015.

**Deceptive-like Behaviour in Dogs (*Canis familiaris*).** Heberlein M.T.E. e altri, in «Animal Cognition», Vol. 20, n. 3, pp. 511-520, maggio 2017.

***Drosophila melanogaster* Cloak Their Eggs with Pheromones, Which Prevents Cannibalism.** Narasimha S. e altri, in «PLoS Biology», Vol. 17, n. 1, articolo n. e2006012, 10 gennaio 2019.

**Il cordoglio dell'orca.** King B.J., in «Le Scienze» n. 611, luglio 2019.

# Perché ci fidiamo delle bugie

## L'informazione sbagliata più efficace comincia con granelli di verità

*di Cailin O'Connor e James Owen Weatherall*

**Verso la metà dell'Ottocento un bruco grande come un dito umano cominciò a diffondersi nel nord-est degli Stati Uniti. Questa comparsa del bruco del pomodoro fu seguita da racconti spaventosi di intossicazioni letali e aggressioni verso le persone. Nel luglio 1869 i giornali della regione lanciarono avvertimenti sull'insetto, raccontando che a Red Creek, nello Stato di New York, dopo un contatto con la creatura una bambina era «caduta in preda agli spasmi, conclusi con la morte».**

Quell'autunno il «Syracuse Standard» pubblicò il resoconto di un tale dottor Fuller, che aveva trovato un esemplare davvero enorme del bruco. Il medico avvertì che l'insetto era «velenoso come un serpente a sonagli» e sostenne di essere a conoscenza di tre morti provocate dal suo veleno.

Anche se il bruco è così vorace da spogliare una pianta di pomodori in pochi giorni, per gli esseri umani è innocuo. Gli entomologi lo sapevano da decenni quando Fuller pubblicò il suo drammatico racconto, e le sue affermazioni furono derise dagli esperti. Allora perché le voci continuarono a circolare sebbene la verità fosse già a portata di mano? Le persone imparano tramite la socialità. Ricaviamo gran parte delle nostre convinzioni dalla testimonianza di altre persone fidate, come insegnanti, genitori, amici. Questa trasmissione sociale della conoscenza è alla base della cultura e della scienza. Ma, come dimostra la storia del bruco, ha un enorme punto debole: a volte le idee che diffondiamo sono sbagliate.

Negli ultimi cinque anni sono stati messi a fuoco i modi in cui la trasmissione sociale della conoscenza può ingannarci. La cattiva informazione condivisa sui *social media* ha alimentato un'epidemia di false credenze, con la diffusione di convinzioni errate su argomenti che vanno dalla frequenza dei brogli elettorali alla possibilità che la strage nella scuola elementare di Sandy Hook, in Connecticut, sia stata una messinscena, fino alla sicurezza dei vaccini. Gli stessi meccanismi di base che diffusero la paura del bruco del pomodoro hanno ora intensificato, e in alcuni casi provocato, una profonda sfiducia del pubblico nei confronti delle istituzioni di base della società. Una conseguenza è la più grave epidemia di morbillo dell'ultima generazione.

In questo caso il termine «cattiva informazione» può sembrare inadatto. D'altronde molte delle attuali false credenze più dannose ricevono la spinta iniziale da atti di propaganda e disinformazione, deliberatamente ingannevoli e concepiti per provocare danni. Ma uno dei motivi per cui propaganda e disinformazione sono così efficaci nell'epoca dei social media è il fatto che chi le subisce le condivide tra amici e conoscenti di cui ha la fiducia e non ha intenzione di ingannare nessuno. I social media trasformano la disinformazione in cattiva informazione.

Per cercare di capire come le false credenze possano sopravvivere, molti teorici della comunicazione ed esperti di scienze sociali hanno concepito modelli in cui la diffusione delle idee è equiparata a un contagio epidemico. Per applicare modelli matematici bisogna simulare una rappresentazione semplificata delle interazioni sociali umane usando un algoritmo, e poi studiare queste simulazioni per imparare qualcosa sul mondo reale. In un modello di contagio, le idee sono come virus che passano da una mente all'altra. Si comincia con una rete, formata da nodi e linee che indicano rispettivamente gli individui e le connessioni sociali. Si semina un'idea in una «mente» per vedere come si diffonde in base a varie ipotesi sulla modalità di trasmissione.

I modelli del contagio sono estremamente semplici, ma sono sta-

ti usati per spiegare schemi di comportamento sorprendenti, come l'epidemia di suicidi che si dice travolse l'Europa nel 1774 dopo la pubblicazione di *I dolori del giovane Werther* di Goethe, o quando nel 1962, negli Stati Uniti, decine di operai tessili riferirono di soffrire di nausea e torpore dopo essere stati punti da un insetto immaginario. E possono spiegare anche come alcune false credenze si propagano su Internet. Prima delle ultime elezioni presidenziali negli Stati Uniti, su Facebook è apparsa un'immagine di un giovane Donald Trump con una citazione: Trump avrebbe detto che, se si fosse candidato alla presidenza, l'avrebbe fatto nel Partito repubblicano, perché è formato «dall'elettorato più stupido». Non è chiaro chi sia stato il «paziente zero», ma sappiamo che il meme è passato rapidamente da un profilo all'altro.

La veridicità del meme è stata presto verificata e smentita: già a ottobre 2015 il sito web di *fact checking* Snopes ha riferito che la citazione era stata inventata. Ma, come nel caso del bruco del pomodoro, divulgare la verità non ha cambiato il modo in cui si diffondono le voci. Una sola copia del meme è stata condivisa oltre mezzo milione di volte. Via via che nuove persone lo condividevano, le loro false credenze hanno infettato i loro amici, che a loro volta le hanno trasmesse a nuove aree della rete.

È per questo che molti memi ampiamente condivisi sembrano immuni al fact checking e al *debunking*. Le persone che hanno condiviso il meme di Trump non hanno fatto altro che fidarsi dell'amico da cui l'avevano ricevuto, invece di verificare personalmente. Tirare fuori i fatti non serve, se nessuno si preoccupa di controllarli. Si potrebbe pensare che qui il problema sia la pigrizia o l'ingenuità, e che quindi la soluzione consista solo nel migliorare l'istruzione o le capacità di pensiero critico. Ma non è del tutto corretto. A volte le false credenze persistono e si diffondono addirittura nelle comunità in cui tutti si impegnano a fondo per scoprire la verità, raccogliendo e condividendo prove. In questi casi il problema non è la fiducia sconsiderata, ma qualcosa di molto più profondo.

## Prove affidabili

La pagina Facebook «Stop Mandatory Vaccination» ha più di 140.000 *follower*. I suoi moderatori pubblicano periodicamente materiale presentato in modo da dimostrare a questa comunità che i vaccini sono dannosi o inutili. Nelle pagine di altri gruppi Facebook, migliaia di genitori preoccupati fanno domande e danno risposte sulla sicurezza dei vaccini, spesso condividendo saggi scientifici e pareri legali che sostengono le attività contro le vaccinazioni. Chi partecipa a queste comunità *on line* è molto interessato a sapere se i vaccini sono dannosi, e cerca attivamente di scoprire la verità. Eppure arriva a conclusioni pericolosamente sbagliate. Come è possibile?

Per rispondere a questa domanda il modello del contagio è inadeguato. Ci serve invece un modello che sia in grado di rappresentare i casi in cui le persone adottano convinzioni in base alle prove che raccolgono e condividono. Inoltre il modello deve cogliere innanzitutto perché queste persone sono stimolate a cercare la verità. Nelle questioni di salute, agire in base a convinzioni erronee può costare caro. Se i vaccini sono sicuri ed efficaci (e lo sono) e i genitori non fanno vaccinare i figli, espongono sia i figli sia le persone immunodepresse a un rischio non necessario. Se i vaccini non sono sicuri, come hanno concluso i partecipanti a quei gruppi Facebook, allora i rischi vanno nell'altra direzione. Significa che è essenziale scoprire dove sta la verità, e agire di conseguenza.

Per capire meglio questo comportamento, nella nostra ricerca ci siamo basati su un contesto di struttura epistemologica delle reti, introdotto vent'anni fa da alcuni economisti per studiare la diffusione sociale delle credenze in una comunità. I modelli di questo tipo sono divisi in due parti: un problema e una rete di individui (o «agenti»). Il problema comporta la scelta di un'opzione tra due: potrebbero essere «vaccinare» e «non vaccinare» i propri figli. Nel modello gli agenti hanno le loro credenze su quale sia la scelta migliore. Secondo alcuni la vaccinazione è sicura ed efficace, secondo altri provoca l'autismo. Le credenze degli agenti ne determinano il comportamento: chi ritiene che le vaccinazioni sono sicure sceglie di farle. A sua volta, il loro comportamento ne determina le credenze. Quando gli agenti fanno vaccinare i figli e vedono che non succede niente di male, si convincono ancora di più che le vaccinazioni sono effettivamente sicure.

La seconda parte del modello è una rete che rappresenta i collegamenti sociali. Gli agenti possono imparare non solo dalla propria esperienza con le vaccinazioni, ma anche da quelle dei loro vicini. Così la comunità di un individuo è molto importante nel determinare quali convinzioni finirà per adottare.

La struttura epistemologica delle reti coglie alcune caratteristiche essenziali che mancano ai modelli di contagio: le persone raccolgono dati intenzionalmente, li condividono e poi subiscono gli effetti delle cattive credenze. Queste scoperte hanno qualcosa di importante da insegnarci sulla diffusione sociale della conoscenza. La prima cosa che impariamo è questa: lavorare insieme è meglio che da soli, perché un individuo che si trova di fronte a un problema come questo ha buone probabilità di adottare prematuramente la teoria peggiore. Per esempio, potrebbe osservare un bambino che manifesta l'autismo dopo essere stato vaccinato e concludere che i vaccini non sono sicuri. Tendenzialmente, in una comunità le convinzioni sono variegate. Alcuni sperimentano un'azione, altri un'azione diversa. Grazie a questa diversità, in genere si raccolgono prove a sufficienza per formare buone credenze.

Nemmeno questo vantaggio di gruppo però garantisce che gli agenti imparino la verità. Le vere prove scientifiche sono probabi-


**Cailin O'Connor** è professoressa associata di logica e filosofia della scienza all'Università della California a Irvine.

**James Owen Weatherall** è professore di logica e filosofia della scienza nella stessa università.


IN BREVE

**I social media** hanno facilitato la proliferazione di notizie false a una scala senza precedenti.
**Ideando modelli** di come le informazioni sbagliate si diffondono attraverso le reti di persone, i ricercatori imparano in che modo la fiducia sociale e il conformismo influiscono sulla formazione del consenso all'interno delle comunità.

**Aggiungendo dei propagandisti** ai modelli si dimostra con quale facilità si possono manipolare le credenze, anche quando abbondano le prove scientifiche.

Illustrazione di Lisk Feng

# Come la scienza delle reti mappa la diffusione delle fake news

Usiamo la scienza delle reti per capire meglio in che modo i collegamenti sociali influenzano le convinzioni e i comportamenti degli individui in una rete sociale, e soprattutto come le convinzioni sbagliate possono diffondersi da una persona all'altra. Qui osserviamo due tipi di modelli di rete, che rappresentano modi diversi in cui si diffondono idee o convinzioni. In questi modelli ogni nodo indica un individuo. Ogni lato o connessione tra nodi rappresenta un legame sociale.

## IL MODELLO DEL CONTAGIO

I modelli del contagio trattano le idee come se fossero virus che si diffondono tra i membri di una rete sociale. Questa «infezione» può avvenire in vari modi. In alcuni modelli, chiunque abbia un vicino infetto ne resta contagiato. In altri le idee si diffondono ogni volta che si infetta una certa percentuale dei vicini di un individuo. Qui illustriamo questi «contagi complessi» con esempi in cui le persone adottano una nuova idea se l'ha adottata almeno il 25 per cento dei loro vicini. In questi modelli, la struttura della rete influisce sul modo in cui si diffondono le idee.

### Come leggere gli schemi del contagio

Ogni nodo circolare è una persona influenzata dalle idee presentate da altri.

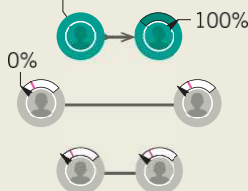
Ogni linea rappresenta un collegamento tra individui.

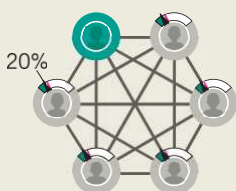
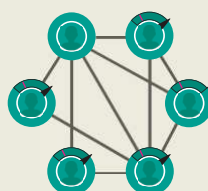
L'indicatore in cima ai nodi indica la percentuale dei collegamenti di un individuo con una certa convinzione. Negli scenari sottostanti, la soglia a partire da cui una persona fa propria la convinzione dei suoi vicini è il 25 per cento (almeno 1 su 4).

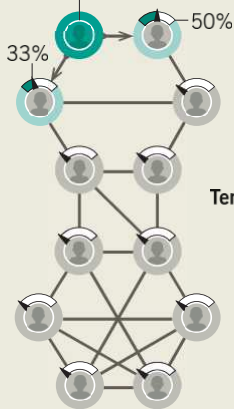
0% 25% 100%

**LEGAMI E PONTI:** Nei gruppi meno connessi le idee non riescono a raggiungere tutti i componenti. A volte anche l'eccesso di connessioni può fermare la diffusione di un'idea.
In alcune reti si trovano piccoli gruppetti coesi ma isolati: anche se in uno di loro si diffonde un'idea, può avere difficoltà a trasmettersi agli altri.

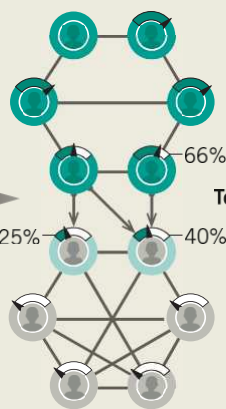
Troppo poche connessioni: un'idea complessa (*verde*) parte da un nodo (individuo) e non va lontano

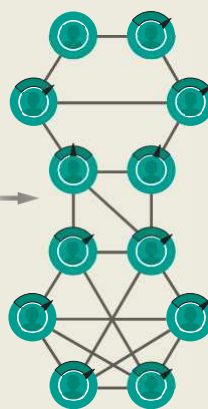
100% 0%

Troppe connessioni: l'idea non si diffonde

20%

Giusta misura: l'idea si diffonde

Punto di partenza: l'idea complessa parte da un individuo

50% 33%

Tempo

L'idea si diffonde all'interno del gruppo (legami)

66% 25% 40%

Tempo

L'idea si diffonde a un altro gruppo (ponti)

## STRUTTURA EPISTEMOLOGICA DELLE RETI

I modelli epistemologici delle reti rappresentano situazioni in cui le persone si formano delle credenze raccogliendo e condividendo prove. Nella scienza questo tipo di modello si applica a molti casi. Le convinzioni non si trasmettono semplicemente da un individuo all'altro, ma ogni persona ha un certo grado di certezza su un'idea. Questo la stimola a raccogliere prove per sostenerla, e quelle prove cambiano le sue convinzioni. Ogni individuo condivide le sue prove con i vicini di rete, influenzando anche le loro convinzioni.

### Come leggere i grafici della struttura epistemologica delle reti

Ogni nodo circolare o quadrato è una persona influenzata dalle prove presentate da altri. Ciascuno è convinto che sia migliore l'**azione A** (*in blu*) oppure l'**azione B** (*in arancione*). Col tempo la loro convinzione può rafforzarsi, indebolirsi e/o cambiare, come indicato dalla variazione dei colori.

L'intensità del colore rappresenta il livello di certezza dell'individuo nei confronti di un'azione. Per esempio, un valore del 75 per cento significa che ritiene l'**azione B** migliore dell'**azione A** con il 75 per cento di probabilità. Se il valore è maggiore del 50 per cento, l'individuo esegue l'**azione B**. Quindi usiamo il teorema di Bayes – che è il modo razionale di cambiare idea alla luce delle prove – per aggiornare la convinzione dell'individuo in base a questo risultato e quindi aggiornare tutte le connessioni nella sua rete.

**È migliore l'azione A**
**0%**
25% di possibilità che sia migliore l'azione B
**50%**
**È migliore l'azione B**
75% di possibilità che sia migliore l'azione B
**100%**

I nodi quadrati sono individui che testano le azioni e aggiornano di conseguenza le proprie credenze (cercatori di prove)

I nodi circolari rappresentano gli individui che osservano i risultati degli altri ma non testano personalmente le azioni (osservatori)

Le stelle rappresentano individui che non hanno credenze proprie, ma invece si dedicano a introdurre nel sistema risultati selettivi (propagandisti)

Grafica di Jen Christiansen; fonti: *The Wisdom and/or Madness of Crowds*, di Nicky Case https://ncase.me/crowds; *The Misinformation Age: How False Beliefs Spread*, di Cailin O'Connor e James Owen Weatherall, Yale University Press, 2019

**AGGIORNARE E SPERIMENTARE:** In questi modelli gli individui partono con un livello casuale di certezza, o credenza, su quale azione tra A e B sia la migliore. Quindi compiono l'azione che preferiscono, cioè «sperimentano». I loro risultati danno prove sul successo di queste azioni, che condividono con i vicini. Tutti gli individui aggiornano le rispettive credenze in base a quello che osservano.

Credenze iniziali

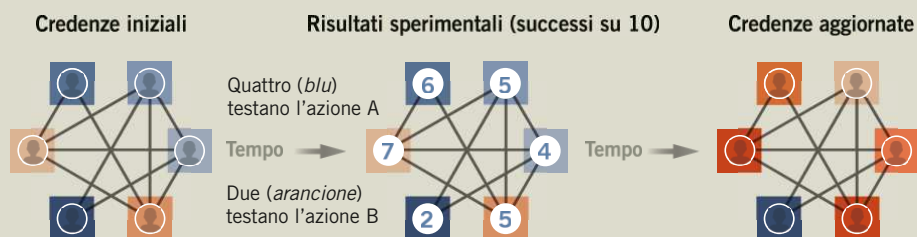
Risultati sperimentali (successi su 10)

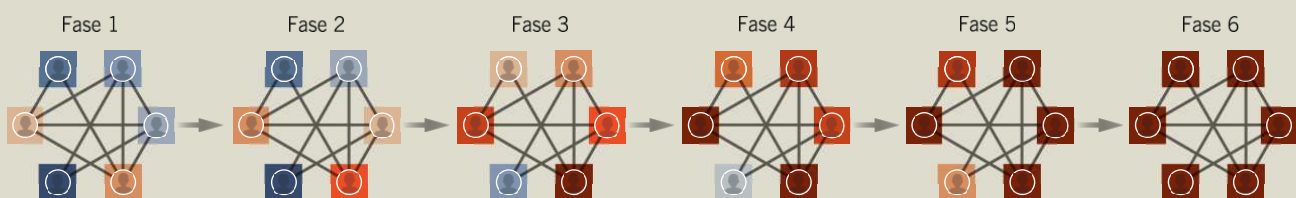
Quattro (*blu*) testano l'azione A

Tempo

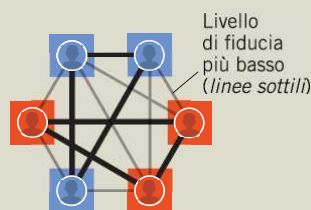
Due (*arancione*) testano l'azione B

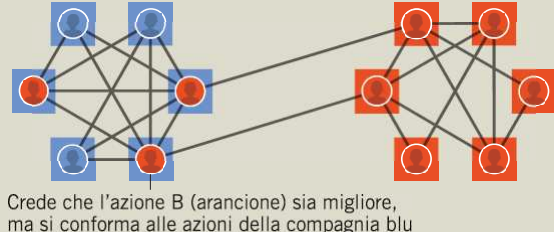
Tempo

Credenze aggiornate

**CONVERGENZA SULLE VERE CREDENZE:** Col tempo le connessioni sociali in questi modelli fanno sì che i gruppi di persone raggiungano un consenso su quale sia l'azione migliore tra A e B. Via via che raccolgono e condividono prove, in genere imparano che l'azione migliore è effettivamente la migliore. Per esempio, un individuo che prova quella peggiore vedrà che il suo vicino sta facendo molto meglio, e quindi cambierà. A volte, però, una serie di prove fuorvianti convince tutto il gruppo che l'azione peggiore sia migliore.

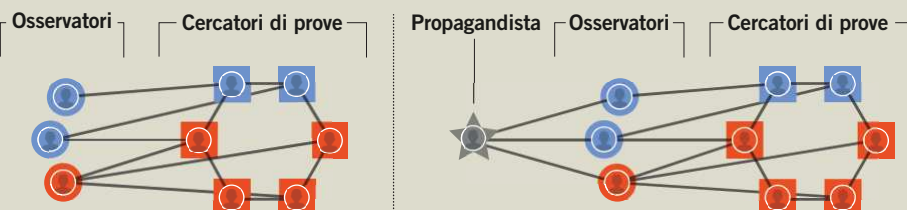
Fase 1 — Fase 2 — Fase 3 — Fase 4 — Fase 5 — Fase 6

**POLARIZZAZIONE:** Se a questi modelli aggiungiamo la fiducia sociale o il conformismo, potrebbero non raggiungere più il consenso. Se ciascun individuo si fida delle prove portate da chi condivide le sue credenze, si formano campi polarizzati che ascoltano solo gli appartenenti al proprio gruppo. Se ogni individuo cerca di conformare le proprie azioni con quelle dei membri del gruppo, le buone idee non riescono a trasmettersi da una compagnia chiusa all'altra.

Credenze stabili e opposte all'interno di un gruppo

Livello di fiducia più basso (*linee sottili*)

Disposizione in compagnie chiuse, con credenze stabili e opposte a causa del conformismo

Crede che l'azione B (arancione) sia migliore, ma si conforma alle azioni della compagnia blu

**CERCATORI DI PROVE, OSSERVATORI E PROPAGANDISTI:** In alcuni casi i propagandisti cercano di fuorviare un gruppo di persone in merito ai risultati scientifici. Possiamo usare questi modelli per rappresentare un gruppo che cerca prove e le raccoglie, un gruppo di osservatori che aggiornano le credenze in base a queste prove e un propagandista che inganna gli osservatori.

Osservatori — Cercatori di prove

Propagandista — Osservatori — Cercatori di prove

**AGGIORNAMENTO DELLE CREDENZE QUANDO ENTRANO IN GIOCO I RISULTATI SELETTIVI:** I propagandisti di professione influenzano l'opinione pubblica selezionando i risultati e condividendo solo quelli che sostengono erroneamente l'azione peggiore. Possono fuorviare il pubblico, addirittura nei casi in cui gruppi di cercatori di prove raggiungono un consenso sull'informazione vera. Questa strategia di disinformazione del pubblico approfitta della casualità intrinseca dei risultati scientifici per diffondere idee fuorvianti.

Credenze iniziali

Risultati sperimentali (successi su 10)

I propagandisti condividono solo i risultati che sostengono l'azione A (*blu*)

Credenze aggiornate

listiche. Per esempio, alcuni non fumatori si ammalano di cancro ai polmoni, e alcuni fumatori invece no. Significa che alcuni studi sui fumatori non troveranno un legame con il cancro. Allo stesso modo, sebbene non esista alcun legame statistico tra vaccini e autismo, alcuni bambini vaccinati sono autistici. Così alcuni genitori osservano che i figli iniziano a manifestare i sintomi dell'autismo dopo avere ricevuto le vaccinazioni. Può bastare una serie di prove fuorvianti di questo tipo per indurre in errore un'intera comunità.

Nella versione più semplice del modello, l'influenza sociale fa sì che le comunità raggiungano un consenso. Decidono che le vaccinazioni o sono sicure o sono pericolose. Ma questo non corrisponde a quello che vediamo nel mondo reale. Nelle comunità vere assistiamo alla polarizzazione: un disaccordo insanabile sull'opportunità di vaccinare. A nostro avviso, al modello di base mancano due ingredienti essenziali: fiducia sociale e conformismo.

La fiducia sociale è determinante per le convinzioni quando le persone considerano alcune fonti di prove più attendibili di altre. È quello che vediamo quando gli antivax si fidano più delle prove condivise dai membri della loro comunità che di quelle presentate dai Centers for Disease Control and Prevention o altri enti di ricerca medica. Questa sfiducia può avere moltissime cause, per esempio precedenti esperienze negative con i medici, o il timore che le autorità sanitarie non abbiano a cuore gli interessi delle persone. In alcuni casi questa sfiducia può essere giustificata, visti i numerosi medici e ricercatori che ignorano i problemi legittimi dei pazienti, in particolare delle donne. Il risultato finale però è che gli antivax non imparano proprio da chi raccoglie le prove migliori sull'argomento. Nelle versioni del modello in cui gli individui non si fidano delle prove portate da chi ha convinzioni molto diverse, vediamo che le comunità si polarizzano e chi ha idee scadenti non riesce ad acquisirne di migliori.

Il conformismo invece è la tendenza ad agire come le altre persone della propria comunità. Il bisogno di conformarsi è profondamente radicato nella psiche umana, e può portarci a commettere azioni che sappiamo essere dannose. Quando aggiungiamo al modello il conformismo vediamo che emergono gruppi chiusi di agenti con credenze false. Il motivo è che agenti collegati al mondo esterno non trasmettono le informazioni in contrasto con le convinzioni del gruppo, e di conseguenza molti suoi componenti non vengono mai in contatto con la verità.

Il conformismo può contribuire a spiegare perché gli antivax tendano a concentrarsi in certe comunità. In alcune scuole private e semiprivate della California meridionale, la percentuale di bambini vaccinati non supera le poche decine. E queste percentuali sono estremamente basse anche tra gli immigrati somali a Minneapolis e gli ebrei ortodossi a Brooklyn, due comunità in cui di recente sono scoppiate epidemie di morbillo.

Per intervenire sullo scetticismo nei confronti dei vaccini bisogna tenere conto sia della fiducia sociale sia del conformismo. Probabilmente limitarsi a condividere nuove prove con gli scettici è inutile, a causa dei problemi di fiducia. E a causa del conformismo potrebbe essere difficile convincere membri fidati della comunità a sostenere pubblicamente le vaccinazioni. L'approccio migliore consiste nel trovare persone che hanno abbastanza in comune con le rispettive comunità da suscitare fiducia. Per esempio, a Brooklyn un rabbino potrebbe essere efficace come ambasciatore dei vaccini, mentre nella California meridionale per questo ruolo potrebbe essere più indicata un'attrice come Gwyneth Paltrow. Fiducia sociale e conformismo sono due dei motivi per cui nelle reti sociali possono emergere opinioni polarizzate. Ma almeno in alcuni casi, come la comunità somala del Minnesota e quelle di ebrei ortodossi a New York, la storia è più complessa. Entrambi i gruppi sono stati presi di mira da sofisticate campagne di disinformazione, progettate dagli antivax.

#### Operazioni di influenza

Le nostre convinzioni sul mondo determinano come votiamo, che cosa compriamo e chi ammiriamo. Di conseguenza ci sono molti gruppi e individui ricchi e potenti che hanno interesse a influenzare le credenze del pubblico, comprese quelle sui dati di fatto scientifici. Secondo un'idea ingenua, quando l'industria cerca di influenzare le credenze scientifiche, non fa altro che assoldare scienziati corrotti. Può darsi che a volte succeda così. Ma uno studio accurato dei casi storici dimostra che ci sono strategie molto più raffinate – e probabilmente più efficaci – adottate da industria, nazioni e altri gruppi. Il primo passo per proteggerci da questo tipo di manipolazione è capire come funzionano queste campagne.

Un esempio classico è l'industria del tabacco, che negli anni cinquanta mise a punto nuove tecniche per contrastare il crescente consenso sui danni mortali del fumo. Negli anni cinquanta e sessanta il Tobacco Institute pubblicava «Tobacco and Health», una *newsletter* bimestrale che riferiva solo le ricerche scientifiche secondo cui il tabacco non era dannoso, o che mettevano in evidenza l'incertezza sui suoi effetti per la salute.

**Il bisogno di conformarsi è profondamente radicato nella psiche umana, e può portarci a commettere azioni che sappiamo essere dannose**

I *pamphlet* adottano quella che abbiamo definito condivisione selettiva. Questo metodo consiste nel prendere ricerche scientifiche autentiche e indipendenti, e selezionarle presentando solo le prove a favore della posizione che si preferisce. Usando varianti dei modelli descritti in precedenza, abbiamo sostenuto che la condivisione selettiva può essere incredibilmente efficace nell'influenzare quello che un pubblico di non addetti ai lavori arriva a credere sui dati di fatto scientifici. In altre parole, soggetti motivati possono usare granelli di verità per dare un'impressione di incertezza o perfino convincere le persone di affermazioni false.

La condivisione selettiva è da tempo uno strumento essenziale nell'armamentario degli antivax. Prima della recente epidemia di morbillo a New York, un'organizzazione che si definisce Parents Educating and Advocating for Children's Health (PEACH) ha prodotto e distribuito un pamphlet di 40 pagine intitolato *The Vaccine Safety Handbook*. Le informazioni condivise – quando erano precise – erano molto selezionate, e si concentravano su una manciata di studi scientifici che lasciavano intuire rischi collegati ai vaccini, mentre davano un'attenzione minima ai numerosi studi che ne dichiaravano la sicurezza.

Il manuale PEACH era particolarmente efficace perché abbinava la condivisione selettiva alla retorica. Raccoglieva la fiducia degli ebrei ortodossi facendo leva sull'appartenenza alla comunità e metteva in risalto gli aspetti che probabilmente avrebbero suscitato più preoccupazione in quel pubblico. Selezionava con cura fatti

COME CERCA LE RISPOSTE
UN'ESPERTA DI STATISTICA

## In statistica di solito non vediamo tutto l'universo, ma solo una fetta.

E in genere è una fettina che potrebbe raccontare una storia diversa rispetto a un'altra. Cerchiamo di passare da queste fettine a una verità più grande. Secondo molti, quell'unità di base della verità è il valore *p*, una misura statistica di quanto sia sorprendente ciò che vediamo nella nostra fettina, se valgono le nostre ipotesi sull'universo in generale. Ma non credo che sia corretto. Il concetto di significatività statistica si basa su una soglia arbitraria applicata al valore *p*, e potrebbe avere poco a che fare con la significatività effettiva o scientifica. È fin troppo facile scivolare in uno schema di pensiero che attribuisce un significato a quella soglia arbitraria: ci dà un senso di sicurezza illusorio. Ed è fin troppo facile anche nascondere dietro quel *p* molti peccati scientifici. Un modo per rafforzare il valore *p* sarebbe uno spostamento culturale verso la trasparenza. Se, oltre a indicare il valore *p*, illustriamo anche come l'abbiamo ottenuto – per esempio l'errore standard, la deviazione standard o altri parametri dell'incertezza – possiamo far capire meglio che cosa significa quel numero. Più informazioni pubblichiamo, più difficile è nascondersi dietro quel valore *p*. Non so se ci riusciremo. Ma credo che dovremmo provarci.

*Nicole Lazar, professoressa di statistica all'Università della Georgia; testo raccolto da Brooke Borel*

sui vaccini destinati a provocare il disgusto di quel target specifico; per esempio diceva che alcuni contenevano gelatina derivata dai maiali. Consapevolmente o no, il pamphlet era concepito in modo da sfruttare la fiducia sociale e il conformismo, proprio i meccanismi cruciali per la creazione della conoscenza umana.

Peggio ancora, i propagandisti sviluppano costantemente metodi sempre più sofisticati per manipolare le credenze del pubblico. Negli ultimi anni abbiamo visto i diffusori della disinformazione lanciare nuovi sistemi – come bot su Twitter, troll pagati e *account* di amici hackerati o copiati – per dare l'impressione che alcune false credenze siano ampiamente condivise, anche dai vostri amici e da altre persone con cui vi identificate. Secondo un articolo pubblicato nel 2018 su «American Journal of Public Health», questa disinformazione è stata distribuita da account collegati a operazioni russe di influenza che cercano di amplificare il dissenso negli Stati Uniti e usare come arma una questione di salute pubblica. Questa strategia lavora per cambiare le opinioni non tramite argomentazioni razionali o prove, ma manipolando la diffusione sociale di conoscenza e credenze.

La raffinatezza degli sforzi per diffondere informazioni sbagliate solleva un problema preoccupante per la democrazia. Tornando all'esempio del morbillo, in molti Stati i bambini possono essere esonerati dall'obbligo vaccinale in base a «credenze personali». E questo nel 2015 ha scatenato una polveriera in California, in seguito a un'epidemia di morbillo provocata da bambini non vaccinati in visita a Disneyland. L'allora governatore Jerry Brown ha firmato una nuova legge, la SB277, che ha annullato l'esenzione.

Gli antivax hanno subito avviato l'iter per indire un referendum per abrogare la legge. Se fossero riusciti a raccogliere 365.880 firme (sono arrivati solo a 233.758), la possibilità di esonero dall'obbligo di vaccinazione per credenze personali sarebbe stata oggetto di referendum, il cui risultato sarebbe stato influenzato proprio da campagne di disinformazione come quelle che in molte comunità hanno provocato il crollo della percentuale di bambini vaccinati.

Per fortuna il tentativo non è riuscito. Ma bisogna riflettere sul fatto che centinaia di migliaia di californiani abbiano sostenuto un referendum su una questione dalle conseguenze rilevanti per la salute pubblica, in cui i dati di fatto sono chiari, ma fortemente fraintesi da alcuni gruppi di attivisti. C'è un motivo per cui ci interessa adottare politiche che tengano conto nel modo migliore delle prove disponibili e reagiscano alle nuove informazioni affidabili. Come è possibile proteggere il benessere pubblico quando così tanti cittadini sono fuorviati su dati di fatto? Difficilmente chi agisce in base a cattive informazioni raggiunge gli obiettivi che desidera, allo stesso modo le società che adottano politiche basate su false credenze hanno poche probabilità di arrivare ai risultati voluti e previsti.

Il modo per rispondere a una domanda che riguarda fatti scientifici – i vaccini sono sicuri ed efficaci? – non consiste nel metterla ai voti in una comunità di profani, soprattutto se subiscono pesanti campagne di disinformazione. Abbiamo invece bisogno di un sistema che non solo rispetti procedure e istituzioni della scienza rigorosa considerandola come il miglior modo che abbiamo di imparare la verità sul mondo, ma che rispetti anche i valori alla base della democrazia, che impedirebbero a un singolo gruppo, come gli scienziati, di dettare le politiche.

Non abbiamo una proposta di sistema di governo che riesca a bilanciare perfettamente queste esigenze contrastanti. Ma pensiamo che sia fondamentale separare meglio due questioni sostanzialmente diverse: quali sono i fatti, e che cosa dobbiamo fare alla luce dei fatti? Gli ideali democratici impongono che entrambi gli aspetti richiedano sorveglianza pubblica, trasparenza e responsabilità. Ma è solo il secondo – quali decisioni prendere in base ai fatti – che va messo ai voti. ■

PER APPROFONDIRE


**The Wisdom and/or Madness of Crowds.** Case N., gioco interattivo sul contagio nelle reti. **https://ncase.me/crowds.**

**Weaponized Health Communication: Twitter Bots and Russian Trolls Amplify the Vaccine Debate.** Broniatowski D.A. e altri, in «American Journal of Public Health», Vol. 108, n. 10, pp. 1378-1384, ottobre 2018.


Illustrazione di Bud Cook

ECONOMIA COMPORTAMENTALE

# Disonestà contagiosa

## La disonestà genera altra disonestà, facendo diffondere rapidamente nella società i comportamenti disonesti

*di Dan Ariely e Ximena Garcia-Rada*

**Immaginate di andare in municipio a richiedere un permesso per lavori di ristrutturazione a casa. L'impiegata che riceve il vostro modulo vi dice che, a causa del gran numero di richieste che arrivano all'ufficio, ci possono volere fino a nove mesi prima che il personale rilasci il permesso, ma se le date 100 dollari il vostro modulo sarà messo in cima alla pila. Vi rendete conto che vi ha appena chiesto una bustarella: un pagamento illecito per ottenere un trattamento preferenziale. È probabile che vi vengano in mente un sacco di domande: è meglio pagare per accelerare le cose? I miei amici o i miei parenti lo farebbero? Probabilmente, però, non vi chiederete se il fatto che vi sia stata fatta quella richiesta, di per sé, influenzi una decisione etica successiva. Questo è il genere di domande che i ricercatori che studiano il comportamento si pongono per cercare di capire come si diffonde la corruzione.**

L'ampiezza del fenomeno della corruzione è difficile da misurare, ma secondo le stime della Banca Mondiale si ipotizza che gli scambi di tangenti ammontino a 1000 miliardi di dollari ogni anno. Nel 2018 Transparency International ha riferito che più di due terzi dei 180 paesi in cui aveva effettuato ricerche avevano ottenuto un punteggio inferiore a 50 su una scala da 0 («molto corrotto») a 100 («molto onesto»). Regolarmente ci sono grandi scandali che fanno notizia in tutto il mondo, per esempio quando nel 2016 l'impresa edile brasiliana Odebrecht ha ammesso di aver pagato più di 700 milioni di dollari di tangenti a politici e burocrati di 12 paesi, ma è molto comune anche la corruzione di piccola scala, fatta di favori scambiati tra poche persone. Il Barometro globale di percezione della corruzione (Global Corruption Barometer) compilato da Transparency International per il 2017 indica che una su quattro fra le persone intervistate ha affermato di aver pagato una tangente per accedere ai servizi pubblici nell'anno precedente e quasi una su tre fra quelle che dichiaravano di aver pagato si trovava in Medio Oriente o in Nord Africa.

Che sia su grande o piccola scala, la corruzione impedisce lo sviluppo socioeconomico delle nazioni. Colpisce le attività economiche, indebolisce le istituzioni, interferisce con la democrazia ed erode la fiducia dei cittadini nei funzionari pubblici, nei politici e nei propri vicini. Capire la psicologia alla base del fenomeno potrebbe dimostrarsi di importanza cruciale per affrontare il problema. Purtroppo i nostri studi suggeriscono che la semplice esposizione alla corruzione sia corruttiva. Se non si prendono misure preventive, la disonestà può diffondersi da persona a persona in modo nascosto e indesiderato, come una malattia, erodendo norme sociali ed etica, e una volta che si è consolidata una cultura basata sull'imbroglio e sulla bugia, scalzarla diventa difficile.

### Contagio

Immaginate di aver rifiutato la richiesta di tangente dell'impiegata. Che effetto avrebbe questa esperienza sul modo in cui rispondereste a un dilemma etico successivo? Abbiamo cercato di rispondere alla domanda con studi di laboratorio che abbiamo ef-

Illustrazione di Lisk Feng

fettuato insieme a Vladimir Chituc, Aaron Nichols, Heather Mann, Troy Campbell e Panagiotis Mitkidis; questi studi sono all'esame di una rivista accademica per una pubblicazione.

Abbiamo invitato alcune persone nel laboratorio comportamentale dell'università per partecipare a un gioco in cui dovevano lanciare un dado virtuale per ottenere una ricompensa. A tutti era stato detto che avrebbero ricevuto un compenso in base al risultato ottenuto in diversi lanci del dado. In pratica, però, i partecipanti avevano la possibilità di dichiarare risultati diversi da quelli ottenuti, in modo da guadagnare più soldi. In questo modo, tutti i partecipanti dovevano affrontare un conflitto, decidendo se giocare secondo le regole oppure comportarsi in modo disonesto per guadagnare di più. Abbiamo ideato questa impostazione sperimentale per determinare come gli individui bilancino le ricompense esterne e interne (o psicologiche) nel prendere una decisione in ambito etico. Una ricerca pubblicata nel 2008 da Nina Mazar, On Amir e uno di noi (Ariely) indica che la maggior parte delle persone agisce in modo non etico se riesce a trarre beneficio e allo stesso tempo a preservare la propria immagine morale di sé, un'osservazione che gli autori hanno chiamato teoria della conservazione dell'autoconcetto.

Nel nostro gioco i partecipanti dovevano fare 30 lanci di un dado virtuale su un iPad. Molti ricercatori di economia comportamentale hanno usato scenari simili con dadi reali e monete per valutare la disonestà nei cosiddetti giochi decontestualizzati, cioè giochi che non subiscono l'influenza delle norme sociali o culturali. Prima di ogni lancio i partecipanti dovevano scegliere mentalmente un lato del dado (sopra o sotto) e poi dovevano riferire la scelta dopo aver visto il risultato del lancio. Alla fine avrebbero ricevuto una somma di denaro fissa per ogni punto sul lato indicato per ogni lancio. In questo modo tutti avevano un incentivo economico a imbrogliare, riferendo di aver scelto il lato che avrebbe pagato di più. Per esempio, se il risultato del lancio presentava il due sopra e il cinque sotto, le persone potevano essere tentate di dire che prima del lancio avevano scelto il lato «sotto», anche se non era vero.

Questo esperimento non ci permette di sapere se qualcuno ha imbrogliato su un lancio specifico. Ma quando si aggregano i risultati di tutti i lanci e di tutti i partecipanti, si può paragonare la proporzione di risultati favorevoli scelti dai partecipanti con quella casuale (50 per cento) per valutare quanto sia diffusa la disonestà.

Dopo aver ricevuto informazioni sul gioco e sul fatto che durante la sessione avrebbero guadagnato soldi che sarebbero rimasti a loro, i partecipanti sono stati assegnati casualmente a una versione che pagava poco o a una che pagava tanto. Quelli assegnati alla versione che pagava tanto facevano esattamente la stessa cosa di quelli nella versione che pagava poco, ma guadagnavano dieci volte di più. Tutti sapevano dell'esistenza dell'altra versione del gioco. In seguito, a metà dei partecipanti alla versione che pagava poco è stata offerta la possibilità di pagare una tangente per passare alla versione che pagava tanto.


**Dan Ariely** è titolare della cattedra James B. Duke di psicologia ed economia comportamentale alla Duke University e fondatore del Center for Advanced Hindsight. È anche coautore di un documentario sulla corruzione e autore di best-seller.

**Ximena Garcia-Rada** è dottoranda in marketing alla Harvard Business School, dove studia il modo in cui i fattori sociali influenzano le decisioni dei consumatori.


Gli assistenti di ricerca che gestivano l'esperimento presentavano quell'opportunità come illecita, per generare un dilemma morale simile a quello che potrebbe insorgere nella vita reale. L'assistente affermava che il capo non c'era, e che quindi sarebbe stato facile spostare il partecipante nella versione del gioco che pagava tanto senza che nessuno lo scoprisse. Così alla fine avevamo tre gruppi di persone: quelle nella versione del gioco che pagava poco e non esposte alla richiesta di tangente, quelle nella versione che pagava tanto e non esposte alla richiesta di tangente e quelle esposte alla richiesta di tangente; quest'ultimo gruppo si poteva ancora dividere tra chi aveva pagato e chi si era rifiutato di pagare. Questa divisione ci permetteva di valutare quanto sarebbe stato etico il comportamento delle persone esposte alla richiesta di tangente dopo aver ricevuto quell'offerta.

Nel nostro laboratorio comportamentale abbiamo condotto tre versioni del test, con un totale di 349 volontari. Nei primi due studi abbiamo offerto ad alcuni partecipanti l'opportunità di pagare una bustarella di 2 dollari per passare alla versione del gioco che pagava tanto e l'85 per cento di loro ha pagato. La cosa fondamentale che abbiamo osservato è che nelle partite successive i partecipanti che avevano ricevuto la richiesta di tangente baravano più di quelli che non l'avevano ricevuta. Nel secondo studio, per esempio, i partecipanti esposti alla richiesta di tangente baravano il 9 per cento in più rispetto a quelli che giocavano alla versione del gioco che pagava tanto e il 14 per cento in più rispetto a quelli assegnati alla versione che pagava poco ma a cui non era stata fatta la richiesta di pagare la tangente.

In un terzo studio abbiamo verificato se le persone si comportino in modo più immorale quando pagano una tangente o quando sono state semplicemente esposte alla richiesta. Abbiamo reso più costosa la bustarella, portata a 12 dollari, e l'82 per cento dei partecipanti ha rifiutato l'offerta, il che ci ha dato un campione ampio di persone esposte alla richiesta di tangente ma che non l'avevano pagata. È stato inquietante scoprire che, anche limitando la nostra analisi a questo gruppo di individui apparentemente etici, coloro che erano stati esposti alla richiesta illecita baravano di più rispetto a coloro che non l'avevano ricevuta. Nell'insieme, i ri-

IN BREVE

**La corruzione danneggia** l'economia, le istituzioni e le strutture democratiche.

**L'esposizione alla corruzione** basta da sola a corrompere, il che suggerisce l'esistenza di un meccanismo con cui i comportamenti non etici si possono diffondere nella società.

**Le norme sociali** influiscono sui comportamenti etici. Tuttavia, è sorprendente che la tendenza innata a imbrogliare (o meno) sia la stessa nei diversi paesi, nonostante le differenze nei livelli reali di corruzione.

**Sono necessarie altre ricerche** sulle cause che alimentano la corruzione, sul modo in cui si diffonde e su come sia possibile controllarla.

sultati di questi tre esperimenti suggeriscono che ricevere una richiesta di tangente erode la caratura morale delle persone, spingendole a comportarsi in modo più disonesto nelle scelte etiche successive.

### Erosione delle norme

Il nostro lavoro suggerisce che la corruzione sia come una malattia contagiosa: si diffonde rapidamente tra le persone, spesso attraverso la semplice esposizione, e via via che passa il tempo diventa più difficile da tenere sotto controllo. Questo avviene perché le norme sociali (i modelli di comportamento accettati come normali) influiscono sul modo in cui le persone si comportano in molte situazioni, incluse quelle che implicano dilemmi etici. Nel 1991 gli psicologi Robert B. Cialdini, Carl A. Kallgren e Raymond R. Reno definirono l'importante distinzione tra norme descrittive, cioè la percezione di quello che la maggior parte delle persone fa, e norme ingiuntive, cioè la percezione di quello che la maggior parte delle persone approva o disapprova. Noi sosteniamo che entrambi i tipi di norme influiscano sulla corruzione. Per dirla con parole semplici, sapere che altri pagano tangenti per ottenere un trattamento preferenziale (una norma descrittiva) fa sì che le persone abbiano l'impressione che pagarle sia accettabile anche per loro. Allo stesso modo, pensare che altri ritengano accettabile pagare una tangente (una norma ingiuntiva) fa sì che le persone si sentano più a loro agio ad accogliere la richiesta di una bustarella. La corruzione diventa normativa e influisce sulla caratura morale delle persone.

Nel 2009 Ariely, insieme agli studiosi del comportamento Francesca Gino e Shahar Ayal, ha pubblicato un articolo in cui si dimostrava la forza delle norme sociali nel plasmare il comportamento disonesto. In due studi di laboratorio i ricercatori avevano valutato le circostanze in cui l'esposizione al comportamento non etico altrui cambiava le decisioni etiche di un individuo. Ne avevano desunto che l'appartenenza di gruppo aveva un effetto significativo: quando un individuo osservava un membro del proprio gruppo che si comportava in maniera disonesta (uno studente con una maglietta che suggeriva che fosse della stessa scuola, che copiava durante un compito), anche l'individuo in questione si comportava in modo disonesto; al contrario, se la persona che si comportava in modo disonesto era un membro di un altro gruppo (uno studente con una maglietta di una scuola rivale), l'osservatore agiva in modo più onesto.

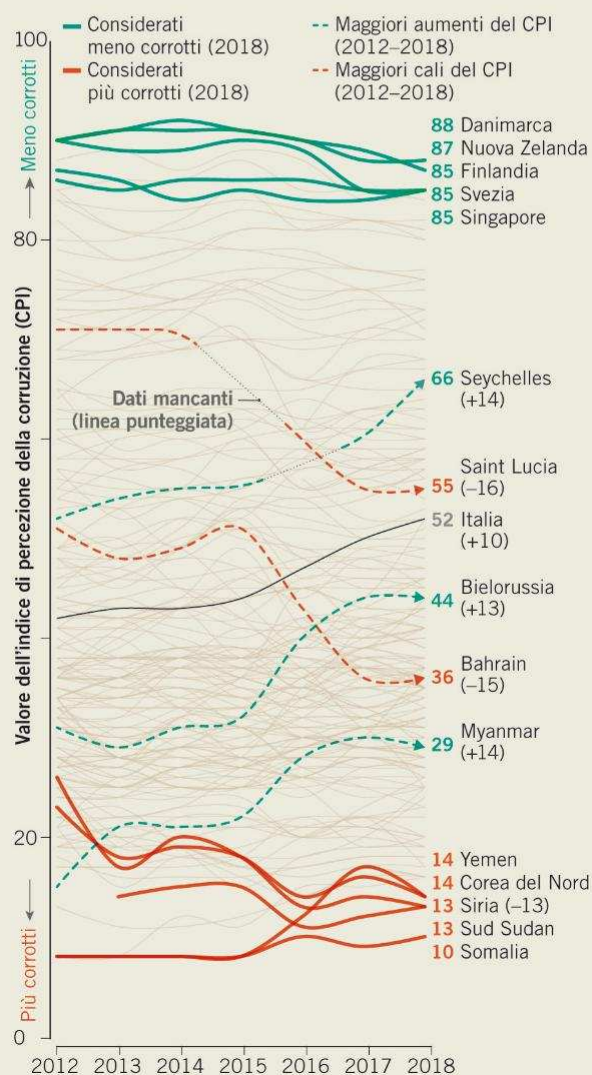
Ma le norme sociali cambiano anche da una cultura all'altra. Quello che è accettabile in una cultura può non esserlo in un'altra. Per esempio, in alcune società offrire doni ai clienti o ai funzionari pubblici è un segno di rispetto per il rapporto professionale, mentre in altre culture è considerato una forma di corruzione. Allo stesso modo, i regali offerti a singoli individui in un rapporto professionale possono essere visti come lubrificanti delle trattative d'affari, per usare le parole degli economisti comportamentali Michel André Maréchal e Christian Thöni, oppure come pratiche commerciali dubbie. E queste aspettative e regole su che cosa sia accettabile si imparano e si rafforzano attraverso l'osservazione degli altri nello stesso gruppo. Così, nei paesi dove si viene spesso a sapere che altri pagano bustarelle per ottenere un trattamento preferenziale, gli individui giungono alla conclusione che pagare tangenti sia socialmente accettabile. Con il tempo, il confine tra il comportamento etico e quello non etico diventa sempre meno netto e la disonestà diventa «il modo in cui si fanno gli affari».

È interessante notare che in uno studio transculturale che ab-

## Indice di percezione della corruzione

I livelli di corruzione nell'amministrazione pubblica variano molto nei diversi paesi del mondo, secondo Transparency International. Ogni anno questa organizzazione non governativa si avvale di sondaggi d'opinione e perizie di esperti per valutare la corruzione nei vari paesi su una scala che va da 0 a 100. Il grafico mostra l'evoluzione di queste valutazioni dal 2012 al 2018, evidenziando i paesi più corrotti e quelli meno corrotti, come pure alcuni che hanno segnato le maggiori fluttuazioni. I livelli di comportamenti disonesti possono aumentare o diminuire con una rapidità sorprendente, ma sono relativamente stabili nei paesi meno corrotti. Gli studi comportamentali indicano che la tendenza innata degli individui a comportarsi in modo disonesto è più o meno la stessa nei diversi paesi, indipendentemente dal livello reale di corruzione in ciascuno di essi.



Grafico di Tiffany Farrant-Gonzalez; fonte: Transparency International (*dati CPI*)

**Dollari falsi** lanciati da un manifestante volteggiano attorno all'allora presidente della FIFA in seguito a uno scandalo legato alla corruzione nel 2015.

Fabrice Coffrini/Getty Images

biamo pubblicato nel 2016 insieme a Heather Mann, Lars Hornuf e Juan Tafurt abbiamo scoperto che la tendenza di fondo delle persone a comportarsi in modo disonesto è simile in paesi diversi. Abbiamo studiato 2179 residenti autoctoni in Stati Uniti, Colombia, Portogallo, Germania e Cina. Usando un gioco simile a quello dei nostri studi sulla corruzione abbiamo osservato che i livelli di disonestà in questi paesi erano circa uguali. Indipendentemente dal paese, le persone imbrogliavano a un livello che permetteva un equilibrio tra la motivazione a guadagnare denaro e quella a mantenere un'immagine morale positiva di se stessi. E contrariamente alle convinzioni comunemente diffuse sulle variazioni tra le varie nazioni (che abbiamo stabilito in un altro gruppo di volontari), nei paesi con alti livelli di corruzione (come la Colombia) non abbiamo trovato più persone che imbrogliavano rispetto ai paesi con bassi livelli di corruzione (Germania).

Allora perché si osservano grandi differenze internazionali nei livelli di corruzione? La verità è che anche se le tendenze innate degli individui a comportarsi più o meno onestamente sono simili nei diversi paesi, le norme sociali e l'applicazione delle leggi hanno una forte influenza sulle percezioni e sui comportamenti. Nel 2007 gli economisti Raymond Fisman ed Edward Miguel hanno pubblicato uno studio sulle multe per divieto di sosta tra i diplomatici delle Nazioni Unite che vivevano a Manhattan. I ricercatori hanno scoperto che i diplomatici provenienti da paesi con alti livelli di corruzione accumulavano più multe non pagate, ma quando le forze di polizia hanno iniziato a poter confiscare le targhe diplomatiche dei colpevoli il numero di multe non pagate scese in maniera significativa. Quel lavoro suggerisce che le norme culturali e l'applicazione delle leggi sono fattori chiave nel plasmare il comportamento etico.

## Indagare più a fondo

Ma quali sono i meccanismi psicologici che entrano in gioco in un caso di corruzione? Gli scienziati che studiano il comportamento li hanno esaminati in laboratorio e sul campo. Per esempio, in un recente studio gli economisti comportamentali Uri Gneezy, Silvia Saccardo e Roel van Veldhuizen hanno indagato la psicologia alla base dell'accettazione di una tangente.

I ricercatori hanno condotto uno studio di laboratorio con 573 partecipanti divisi in gruppi di tre. Due partecipanti erano in gara per vincere un premio scrivendo barzellette, mentre il terzo doveva scegliere il vincitore. Gli scrittori potevano corrompere i giudici mettendo 5 dollari in una busta quando presentavano la propria proposta. Gneezy e colleghi hanno studiato la reazione dei giudici e l'influenza che il fatto di ricevere una bustarella aveva sul loro giudizio. E hanno scoperto che se potevano tenere la somma solo quando l'avevano ricevuta dal vincitore, allora la tangente distorceva il loro giudizio sulle barzellette, ma se potevano tenerla indipendentemente da quale fosse il vincitore, allora essa non aveva più alcuna influenza sulla loro decisione. Questo studio suggerisce che le persone sono influenzate dalle tangenti per interesse personale, non perché vogliono restituire il favore a chi ha pagato la bustarella.

In studi correlati pubblicati nel 2017, Nils Köbis, oggi all'Università di Amsterdam, e colleghi hanno messo alla prova l'idea che la corruzione grave emerga in modo graduale attraverso una serie di atti sempre più disonesti e hanno scoperto che, in realtà, i partecipanti ai loro quattro esperimenti avevano maggiori probabilità di comportarsi in modo non etico se avevano l'opportunità di farlo in modo improvviso, cioè quando erano messi davanti alla tentazione di comportarsi in modo non etico in una singola occasione per ottenere un grosso profitto, piuttosto che quando si trovavano di fronte a una serie di scelte da cui avrebbero tratto piccoli benefici. Come hanno concluso i ricercatori, «a volte la strada per la corruzione non scende lungo una china pericolosa, ma cade in uno strapiombo».

Considerato quanto è dannosa la corruzione per le società, riteniamo che sia cruciale indagarne più a fondo le radici psicologiche. Ci sono tre aree che richiedono ulteriori ricerche. Innanzitutto ci serve una spiegazione più completa di quello che porta una cultura a un comportamento meno onesto. Per esempio, che cosa spinge qualcuno a chiedere una tangente? Che cosa influisce sulla probabilità che qualcuno la accetti? In secondo luogo, quali sono le conseguenze? Chiaramente la corruzione e più in generale la disonestà sono contagiose. Ma la ricerca futura potrebbe studiare gli effetti duraturi della corruzione nel tempo e nei vari settori: che cosa succede quando le persone sono esposte alle tangenti di continuo? L'esposizione ricorrente rafforza o indebolisce l'effetto dei casi di corruzione sulla disonestà individuale? Infine, che tipo di interventi sarebbe più efficace nel ridurre la richiesta e l'accettazione di tangenti?

Per tornare al nostro esempio iniziale, vediamo che lo scambio corrotto offerto dall'impiegata del municipio poteva sembrare banale, o almeno essere considerato un evento isolato, ma purtroppo anche una sola richiesta di tangente ha effetti su chi la fa e su chi la riceve. E bisogna notare che, in un effetto domino, nel tempo può influire su tanti individui, può diffondersi velocemente nella società e, se il fenomeno non viene messo sotto controllo, può consolidare una cultura di disonestà. ■

PER APPROFONDIRE

**The (Honest) Truth about Dishonesty.** Ariely D., HarperCollins, 2012.

**(Dis)honesty: The Truth about Lies.** Documentario con la partecipazione di Dan Ariely, regia di Yael Melamede, Bond/360, 2015.

**How the Trust Trap Perpetuates Inequality.** Rothstein B., in ScientificAmerican.com, pubblicato on line il 1 novembre 2018. **https://www.scientificamerican.com/article/how-the-trust-trap-perpetuates-inequality.**

SICUREZZA INFORMATICA

# Come imbrogliare la democrazia

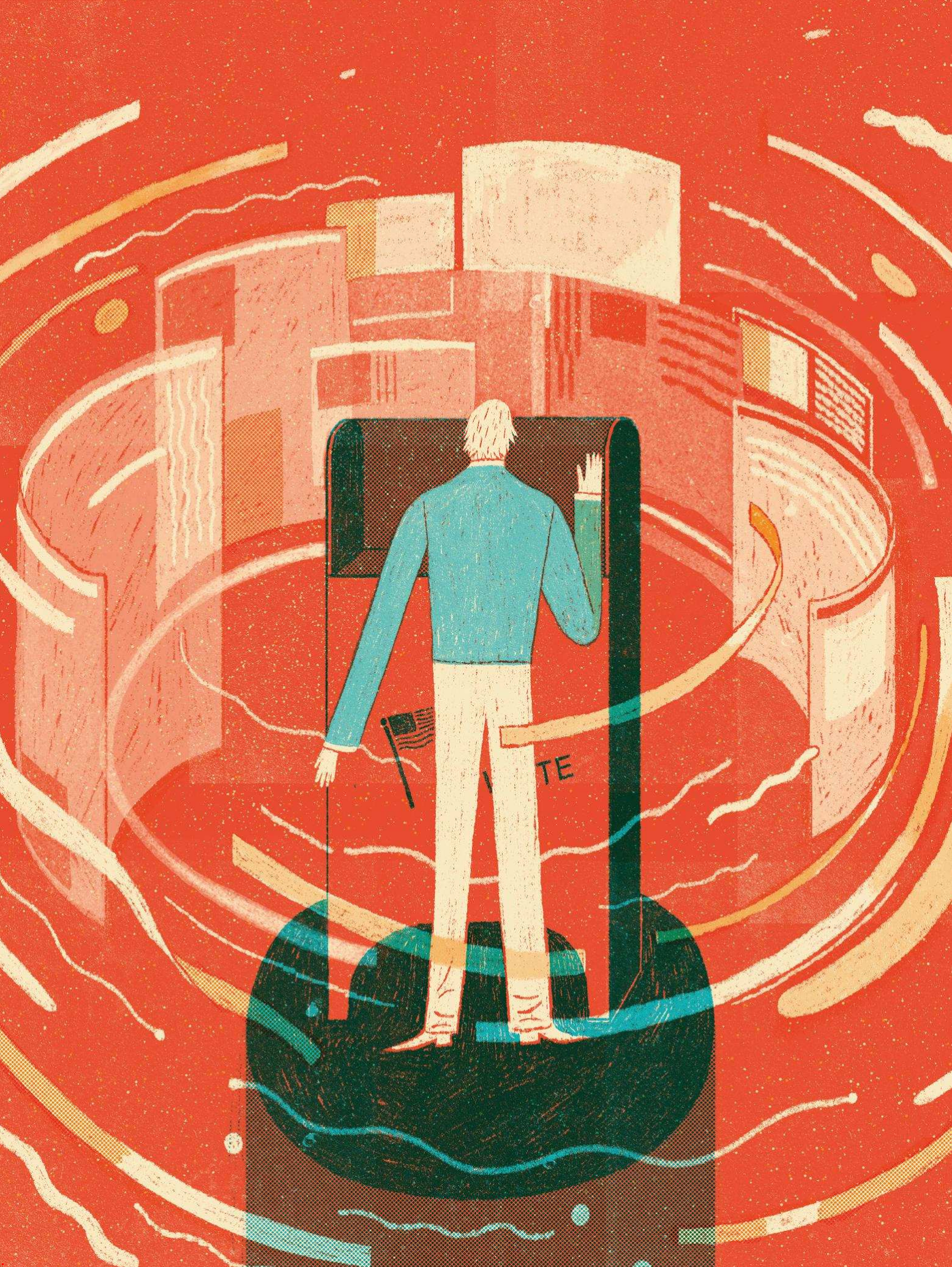
## I peggiori scenari di guerra cibernetica per le elezioni presidenziali degli Stati Uniti del 2020

*di J. Alex Halderman, testo raccolto da Jen Schwartz*

***J. Alex Halderman è uno scienziato informatico che ha mostrato quanto sia facile truccare le elezioni. Il suo gruppo di ricerca all'Università del Michigan esamina i modi in cui i malintenzionati possono prendere di mira i punti deboli di macchine per il voto elettronico, infrastrutture, seggi e registri elettorali, e non solo. Oggi Halderman dedica molto tempo a sensibilizzare legislatori, esperti di sicurezza informatica e il pubblico in generale su come rendere più sicure le elezioni. Negli Stati Uniti ci sono ancora gravi vulnerabilità che guardano alla competizione presidenziale del 2020.***
***Date le falle del sistema, le capacità tecnologiche attuali e le motivazioni delle parti avverse, Halderman ipotizza qui vari potenziali disastri della sicurezza cibernetica che potrebbero mettere in dubbio le elezioni del 2020 e la democrazia stessa. Su una cosa però non ha il minimo dubbio: «L'unico che può essere sicuro che il suo voto non sarà contato e non conterà nulla è chi non va a votare. Non voglio certo tenere le persone lontane dai seggi». Quanto segue è un testo basato su due conversazioni avute nell'ottobre 2018 e nel giugno 2019.***

Le elezioni presidenziali degli Stati Uniti del 2016 hanno cambiato tutto. Hanno colto impreparata gran parte delle comunità dell'*intelligence* e della sicurezza cibernetica, e ci hanno fatto vedere che i nostri modelli delle minacce derivanti dagli atti di guerra cibernetica erano sbagliati. Grazie al rapporto Mueller, oggi sappiamo che i russi hanno fatto uno sforzo serio e coordinato per minare la legittimità del risultato delle elezioni del 2016. I loro sforzi, credo, sono stati assai più organizzati e multiformi di quanto pensassimo inizialmente. E, per quanto ne so, da allora nessuno Stato della nostra federazione ha sottoposto a rigorose analisi forensi le proprie macchine per il voto elettronico per verificare se erano state compromesse. E sono abbastanza sicuro che i russi torneranno nel 2020.

Ritengo che la comunità dell'intelligence continuerà a cercare di fare luce su quello che stanno pianificando e su quello che stanno facendo gli attori malintenzionati. È incredibile quanti dettagli siano venuti fuori dalle accuse per azioni specifiche a carico di esponenti delle alte sfere militari e politiche russe. Ma è difficile capire ciò che non stiamo vedendo. Abbiamo inoltre analoghi livelli di visibilità per Corea del Nord, Iran o Cina? Potenzialmente ci sono tanti sofisticati attori statali che vorrebbero colpirci nel 2020 e più avanti.

Dalle elezioni del 2016 molti Stati hanno apportato miglioramenti alle loro macchine elettorali: ma non è abbastanza e il tutto non sta avvenendo con sufficiente rapidità. In 40 Stati le macchine usate per il voto sono vecchie di almeno un decennio, e molte di queste macchine non stanno ricevendo aggiornamenti per risolvere i problemi di vulnerabilità. Quasi il 25 per cento degli Stati

non ha una documentazioni cartacea completa, dunque non possono effettuare controlli post-elettorali delle schede fisiche. La sicurezza delle elezioni non è una questione di parte; però ci sono ostruzioni, provenienti soprattutto dalla leadership del Partito repubblicano al Senato, che rendono improbabile l'arrivo di una legge sulla sicurezza delle elezioni. Penso che questa sia una terribile abdicazione al dovere del Parlamento di garantire la difesa del paese. Quindi, molti dei peggiori scenari di interferenza elettorale saranno ancora possibili nel 2020.

**J. Alex Halderman** è professore di ingegneria e scienze informatiche all'Università del Michigan, dove è anche direttore del Center for Computer Security and Society. È Andrew Carnegie Fellow per il 2019 per l'impegno nella sensibilizzazione di legislatori e cittadini sul rafforzamento della cyber sicurezza dei processi elettorali.

**Jen Schwartz**, *senior editor* di «Scientific American», si occupa dell'impatto delle tecnologie sulla società.

## Durante la campagna elettorale

La guerra informatica (o guerra cibernetica) comporta spesso lo sfruttamento di vulnerabilità note sia dei sistemi sia della credulità e dei limiti psicologici di base delle persone. Negli Stati Uniti, nel corso delle primarie e nei mesi della campagna elettorale le operazioni mirate a influenzare le elezioni sui *social media* diventeranno molto più precise e sfrutteranno i dati come mai prima d'ora; quindi saranno molto più efficaci e difficili da scoprire.

I candidati alla presidenza stanno già lavorando a spot pubblicitari diretti verso specifiche categorie demografiche dell'elettorato in modo da esercitare la massima influenza. Così una persona potrebbe ricevere da un candidato messaggi mirati sulla base di dati che la riguardano e che sono registrati in una banca dati di consumatori. E persone che la pensano in modi leggermente diversi su una certa questione potrebbero ricevere messaggi differenti da uno stesso candidato. Naturalmente, i malintenzionati che cercano di diffondere vere e proprie menzogne cominceranno a sfruttare le stesse strategie

Come si è visto nel 2006, uno degli obiettivi degli aggressori è aumentare le divisioni nella società, cioè ridurre la coesione sociale. Supponiamo che i russi abbiano accesso agli stessi dati sui profili dei consumatori che gli strateghi delle campagne elettorali usano per lanciare messaggi mirati. Potranno allora combinare questi dati con altri ricavati dai sondaggi e con quelli, acquistati o rubati, delle liste elettorali per capire esattamente quanto conta il voto di ogni singolo elettore e per diffondere disinformazione su misura a gruppi ristretti di persone. Gli aggressori possono anche fingere di essere i candidati stessi. Nell'affollata stagione delle primarie del Partito democratico ci saranno grandi opportunità per lanciare messaggi micro-mirati per mettere le persone le une contro le altre, anche quando in realtà sono d'accordo sulla maggior parte delle cose.

Tutti diamo per scontato che una maggiore trasparenza sia una cosa buona. Ma le persone hanno sempre estrapolato fatti fuori dal contesto quando è utile per sé e dannoso per gli avversari. I candidati convivono sempre di più con il pericolo di furti mirati di informazioni vere. Quando le informazioni sono rubate in modo selettivo da particolari gruppi che un aggressore vuole danneggiare, la verità può essere un'arma politica potente e unilaterale; ne abbiamo visto l'incredibile efficacia nella campagna del 2016 contro Hillary Clinton. È una minaccia così fondamentale per il nostro concetto di come la verità dovrebbe far parte del giornalismo in un processo democratico, che sono certo che succederà ancora. E può essere molto peggiore del furto di e-mail: si pensi a un hacker che accede agli smartphone dei candidati e ne registra in segreto i momenti privati o le conversazioni con i collaboratori politici. Il mio gruppo di ricerca sta sondando gli organizzatori delle campagne elettorali per valutare quanto si stiano proteggendo, e per ora non credo affatto che siano pronti.

Vedremo inoltre informazioni truccate o inventate e prodotte in modo da sembrare vere. Per certi versi questa è una minaccia ancora più grave. In realtà gli aggressori non devono prendere qualcosa da quello che dice o scrive per e-mail un candidato se possono produrre una registrazione che è impossibile da distinguere dalla verità. Abbiamo visto usare recenti progressi nelle tecnologie di apprendimento automatico nella produzione di video di persone che dicono cose che in realtà non hanno mai detto davanti a una telecamera. Nel complesso queste tattiche contribuiscono a minare le nostre più elementari nozioni sulla differenza tra vero e falso. Diventa più facile per i candidati negare cose che hanno detto davvero, suggerendo che e-mail e registrazioni sono stati falsificate e che le persone non dovrebbero credere ai propri occhi e orecchie. È una perdita netta per la nostra capacità di costruire un consenso politico basato sulla realtà.

Nel frattempo, ogni Stato degli Stati Uniti ha un proprio sistema indipendente per la registrazione dei votanti. Dal 2016 molti Stati hanno fatto grossi passi in avanti nel proteggere questi sistemi, installando tecnologie di rilevamento di intrusioni nelle reti o aggiornando hardware e software ormai superati. Molti altri però non l'hanno fatto.

Nelle ultime elezioni, i russi hanno sondato o cercato di entrare nei sistemi di registrazione degli elettori in almeno 18 Stati, e alcune fonti citano numeri più grandi. Secondo i risultati della Senate Select Committee on Intelligence, in alcuni di questi Stati i russi erano nella posizione di poter alterare o distruggere i dati relativi alle registrazioni. Se la prossima volta andranno fino in fondo, in interi Stati ci saranno persone che al seggio si sentiranno dire che non sono iscritte nelle liste degli elettori. Forse riceveranno certificati elettorali provvisori, ma se questo accadrà a un'ampia frazione dell'elettorato i ritardi saranno tanto tremendi che un gran numero di elettori rinuncerà e se ne tornerà a casa. Un attac-

IN BREVE

**Ci sono ancora importanti vulnerabilità** nella sicurezza delle infrastrutture informatiche coinvolte nelle elezioni presidenziali degli Stati Uniti del 2020, anche perché il sistema elettorale si basa sulla fiducia invece che su prove.

**Aggressori stranieri** potrebbero prendere di mira le liste degli elettori e la macchina elettorale sia per influenzare i risultati sia per seminare incertezza e caos.

**Negli scenari peggiori,** tutto questo potrebbe portare a una crisi costituzionale senza precedenti nella storia del paese.

co sofisticato potrebbe addirittura far mentire il sistema di registrazione agli elettori che confermano il proprio status sui portali *on line* mentre nel frattempo modifica le informazioni nelle liste dei seggi.

Gli attacchi alle funzioni pre-elettorali possono essere realizzati per avere conseguenze razziali o faziose. In base alle leggi antidiscriminazione, in alcune liste è registrata non solo l'affiliazione politica ma anche il gruppo etnico degli elettori. Avendo accesso alla banca dati, qualcuno potrebbe manipolare solo i dati delle persone di un partito politico, di un gruppo etnico o di un'area geografica.

In alcuni Stati i sistemi on line di iscrizione alle liste permettono agli elettori di chiedere un voto a distanza o di modificare l'indirizzo a cui inviare le schede. Un aggressore potrebbe richiedere le schede per il voto a distanza per un gran numero di cittadini e farle arrivare a dei complici affinché le compilino con voti falsi.

### Il giorno delle elezioni

Le interferenze elettorali possono avere successo in molti modi: dipende dagli obiettivi degli aggressori e dal loro livello di accesso. In un'elezione dall'esito incerto, se un gruppo ben organizzato, diciamo in Russia, ritiene che un candidato sia decisamente preferibile all'altro per il proprio paese, perché non dovrebbe cercare di influenzare il risultato manipolando i voti in modo non rilevabile? Un aggressore potrebbe introdursi nei sistemi di gestione delle elezioni. C'è una procedura tramite la quale il modello della scheda elettorale – gli incarichi per cui si vota e i relativi candidati, nonché le regole per il conteggio dei voti – viene elaborato, copiato e distribuito a ciascuna macchina per il voto elettronico. In genere i funzionari lo copiano su schede di memoria e chiavette USB da collegare alle macchine. Tutto questo offre una via per la diffusione di programmi dannosi dal sistema centrale fino a un gran numero di macchine sul campo. A quel punto il programma dell'aggressore gira sulla singola macchina per il voto elettronico, dove è solo un programma fra i tanti. Può accedere a tutti i dati accessibili alla macchina, compresi i registri elettronici dei voti delle persone.

Per il 2020 credo che l'epicentro per questo tipo di manipolazione tramite un cyber-attacco sarà un palazzo di uffici del Midwest. Gran parte degli Stati Uniti appalta la progettazione delle schede elettorali a una manciata di fornitori: il più grande di questi fornitori è un produttore di macchine per il voto elettronico che mi ha detto di lavorare alla programmazione pre-elettorale in circa 2000 giurisdizioni in 34 Stati. Il tutto dalla sua sede centrale, in una sala in cui sono stato, in quello che definirei un palazzo di uffici come tanti altri, condiviso con altre aziende. Se gli aggressori riuscissero a entrare in questa struttura centrale e a infiltrarsi in remoto nei computer dell'azienda potrebbero diffondere *malware* nelle macchine per il voto elettronico e modificare i risultati elettorali in buona parte del paese. Le tattiche potrebbero essere sottili come una manipolazione del totale dei voti in giurisdizioni in cui le differenze tra i singoli candidati sono piccole. Cosa che facilmente passerebbe inosservata.

Il mondo scientifico concorda sul fatto che il modo migliore di rendere sicure le elezioni è usare schede cartacee e sottoporle a verifiche rigorose con ispezioni umane a campione. Purtroppo però 12 Stati fanno a meno della carta. Invece di adottarla, alcuni di essi hanno funzionari che fanno verifiche guardando al computer le immagini delle schede originali acquisite con uno scanner. Con il mio gruppo stiamo per pubblicare nuove ricerche che mostrano come usare un algoritmo per creare «falsi profondi» (*deep fake*) di scansioni di schede elettorali. Abbiamo usato tecniche di visione artificiale per spostare da un punto all'altro i segni che esprimono il voto in una scheda compilata dall'elettore con la propria grafia, in modo che le scansione riporti un voto diverso da quello espresso sulla scheda cartacea.

Se poi gli aggressori non dovessero avere un candidato preferito per i loro scopi, allora lo scenario potrebbe essere ancora più spaventoso. La loro motivazione potrebbe essere più generale: indebolire la democrazia negli Stati Uniti. Potrebbero introdurre

**UNA GIORNALISTA IN CERCA DI RISPOSTE NELLA GIUNGLA DEI DATI**

## Le persone danno per scontato che, poiché ci sono dei dati, quei dati devono essere veri.

Ma la verità è che i tutti dati sono sporchi. Le persone creano dati, il che significa che i dati hanno difetti proprio come le persone. Una delle cose che fanno i giornalisti che ci lavorano è dubitare del presupposto di verità, il che serve a un'importante funzione di responsabilità: un controllo per essere sicuri di non farci trascinare collettivamente dai dati e prendere cattive decisioni sociali. Interrogare i dati comporta un gran lavoro: bisogna ripulirli e organizzarli, e controllare bene che i conti tornino. In più, bisogna riconoscere gli elementi di incertezza. Se uno scienziato non ha i dati, non può scrivere l'articolo. Ma una delle cose meravigliose dell'essere *data journalist* è che la carenza di dati non ci scoraggia: a volte la mancanza di dati è altrettanto interessante. Da giornalista, uso le parole, e le parole sono un magnifico strumento per comunicare incertezze.

*Meredith Broussard* è associate professor *dell'Arthur L. Carter Journalism Institute dell'Università di New York; testo raccolto da Brooke Borel*

Illustrazione di Bud Cook

programmi che in pratica farebbero autodistruggere le macchine per il voto elettronico una volta accese nel novembre 2020, provocando il caos su larga scala. O potrebbero far apparire le macchine come perfettamente funzionanti, ma alla fine della giornata elettorale gli ufficiali scoprirebbero che non è stato registrato alcun voto. Nelle giurisdizioni senza schede cartacee con funzione di copie di sicurezza non c'è altra documentazione del voto, quindi le elezioni dovrebbero essere ripetute. Il senso di un attacco ben visibile come questo è che mina la fede nel sistema e scuote la fiducia delle persone nell'integrità della democrazia.

### La notte dei risultati, e il dopo

È necessario che le persone siano più o meno d'accordo sulla verità e sulla conclusione di un'elezione. Ma quando arriverà novembre 2020 saremo tutti già predisposti a essere preoccupati sulla legittimità del processo. Molto dipenderà da quanto incerta sembrerà la corsa la sera delle elezioni.

Il percorso dei risultati elettorali dal seggio fino allo schermo della CNN o al sito web del «New York Times» passa per un sistema computerizzato centralizzato gestito da Associated Press e altri. Che cosa accadrebbe se un aggressore violasse questi sistemi in modo da lanciare un risultato sbagliato la notte delle elezioni? Alla fine lo scopriremmo, perché i singoli Stati rifarebbero i conti ciascuno per sé, ma potrebbero volerci giorni o addirittura un paio di settimane prima di scoprire un errore diffuso. Le persone che volessero credere a elezioni truccate vedrebbero tutto questo come una conferma dei loro sospetti.

**Le sfide per la sicurezza delle elezioni si possono vincere senza bisogno di grandi progressi della scienza: è solo questione di volontà politica**

Solo in 22 Stati è obbligatorio effettuare qualche verifica post-elettorale della documentazione cartacea prima di certificare legalmente i risultati. E in 20 di essi l'obbligo non porta sempre a una verifica statisticamente significativa, perché non è fatta su un campione di schede abbastanza ampio da dare risultati con un livello di fiducia elevato, soprattutto se le differenze tra i voti per i candidati sono piccole. È una questione di matematica, non ha nulla a che fare con la politica. Solo Rhode Island e Colorado richiedono un procedimento statisticamente rigoroso, la *risk-limiting audit*, sebbene altri Stati si stiano muovendo in questa direzione.

Se in molti Stati non si dovesse arrivare ad avere risultati elettorali a causa di intrusioni nei computer, si entrerebbe in territori sconosciuti. Il precedente più vicino sarebbe qualcosa come l'elezione del 2000 tra George W. Bush e Al Gore, il cui esito è stato deciso dalla Corte Suprema, ed è stato reso noto solo un mese dopo le elezioni. Sarebbe terrificante e potrebbe portare alla ripetizione delle elezioni negli Stati interessati. Ma in realtà non si può ripetere una votazione e aspettarsi di ottenere gli stessi risultati, perché la situazione politica non può non essere diversa.

Oppure immaginiamo che un candidato contesti il risultato di un'elezione che abbia una piccola differenza di voti. Secondo le regole attuali, è l'unico caso in cui si tornerà a esaminare le prove materiali per vedere se c'è stato un attacco. Al momento non disponiamo dei giusti strumenti forensi per poter risalire a che cosa è successo e dove, e da chi. Non è chiaro nemmeno chi avrebbe la competenza per questo tipo di analisi, perché spesso funzionari elettorali e forze dell'ordine non vanno d'accordo. E non è desiderabile affidare alla polizia la decisione su chi vince le elezioni.

In uno scenario da incubo, gli aggressori potrebbero accedere ai sistemi elettorali fino a decidere i risultati delle votazione e far vincere uno dei candidati tramite una frode. Poi potrebbero mantenere il segreto, ma realizzerebbero l'impresa in modo da poter provare quando vogliono di aver manipolato l'elezione.

Si pensi a uno Stato tradizionalmente decisivo per le elezioni presidenziali come la Pennsylvania, che corre contro il tempo per sostituire le sue macchine per il voto elettronico vulnerabili e senza carta. Anche se si riuscisse a farlo prima del novembre 2020, in Pennsylvania continua a non essere obbligatoria la risk-limiting audit, motivo per cui brogli in grado di rovesciare i risultati potrebbero passare inosservati. Che accadrebbe se il risultato finale delle elezioni dipendesse proprio dalla Pennsylvania, e un aggressore riuscisse a introdursi nelle sue macchine e a modificare i risultati? Potrebbe impostare la manipolazione in modo che, per esempio, mettendo i seggi elettorali in ordine alfabetico le cifre meno significative dei voti presi dal vincitore siano quelle di $\pi$, o qualcosa di simile. Questo schema passerebbe inosservato, ma potrebbe essere usato per dimostrare che i risultati erano falsi.

Ammettiamo che questa informazione diventi pubblica dopo che il nuovo governo è al potere da un po' di tempo, e nessuno può dunque negare che il presidente in carica non è il vincitore legittimo. Avremmo una crisi costituzionale senza precedenti. Infine, immaginiamo che la nazione che ha lanciato l'attacco invece di rendere nota l'informazione la usi per ricattare il candidato diventato presidente. È vero, stiamo esplorando territori della fantascienza, ma nemmeno più di tanto.

La realtà è che la guerra informatica è per la maggior parte più banale. È quasi certo che vedremo tentativi di spargere dubbi legati alla vulnerabilità del sistema elettorale, semplicemente perché è molto facile. Non è necessario accedere abusivamente a una parte del meccanismo; basta far pensare che potrebbe esser successo.

È difficile impostare una discussione aperta sulle vulnerabilità del sistema senza rischiare di aiutare eventuali aggressori che puntino a minare la fiducia delle persone nei risultati. Ma il problema fondamentale è che il sistema elettorale degli Stati Uniti si basa sul convincere l'opinione pubblica che può fidarsi dell'integrità delle macchine e delle persone che le fanno funzionare.

In ultima analisi, la nostra miglior difesa è fare in modo che le elezioni si basino su prove sicure invece che sulla fiducia, ed è un obiettivo pienamente raggiungibile. Ci sono così tanti problemi nel campo della cybersicurezza e delle infrastrutture critiche che se mi offrissero miliardi di dollari e decenni di tempo per fare ricerca potrei dire solo: forse si può migliorare un po'. Ma le sfide per la sicurezza delle elezioni si possono vincere senza bisogno di grossi progressi della scienza e spendendo appena qualche centinaio di milioni di dollari. È solo questione di volontà politica. ■

PER APPROFONDIRE


**Engineering, and Medicine. Securing the Vote: Protecting American Democracy.** National Academies of Sciences, National Academies Press, 2018.

**Are Blockchains the Answer for Secure Elections? Probably Not.** Dunietz J., in ScientificAmerican.com, pubblicato on line il 16 agosto 2018.

PARTE 3

# IL CANCER

Illustrazione di Red Nose Studio

PSICOLOGIA DEI PROCESSI DECISIONALI

# Scelte difficili

## Come prendiamo le nostre decisioni se abbiamo di fronte incertezza e conoscenze incomplete

*di Baruch Fischhoff*

**Gli psicologi studiano i processi decisionali umani sottoponendo alla gente problemi «giocattolo». In uno studio, per esempio, i miei colleghi e io abbiamo descritto ai partecipanti un'ipotetica malattia causata da due ceppi di patogeni. Poi abbiamo chiesto: «Preferiresti un vaccino che dà una protezione totale contro uno dei due ceppi o un vaccino che dà una protezione del 50 per cento contro tutti e due?» La maggior parte dei partecipanti ha scelto il primo. E noi abbiamo supposto che si fossero lasciati influenzare dall'espressione «protezione totale», visto che le due ipotesi danno la stessa probabilità totale di ammalarsi.**

Noi però viviamo in un mondo di problemi reali, non di problemi giocattolo: situazioni che a volte richiedono di prendere decisioni di vita o di morte in base a conoscenze incomplete o incerte. Anni fa, dopo che avevo intrapreso lo studio dei processi decisionali con la compianta Sarah Lichtenstein e il collega Paul Slovic, entrambi presso la Decision Research, una società di Eugene, nell'Oregon, hanno cominciato ad arrivarci telefonate su questioni molto reali da parte di dirigenti di imprese che si occupavano di energia nucleare o di organismi geneticamente modificati (OGM). Il succo era sempre lo stesso: «La nostra tecnologia è stupenda ma alla gente non piace. Peggio ancora, ormai siamo noi a non piacere alla gente. C'è addirittura chi ci considera malvagi. Voi che siete psicologi, fate qualcosa».

E noi qualcosa abbiamo fatto, anche se probabilmente non era ciò che volevano quei dirigenti d'azienda. Anziché cercare di cambiare le idee delle persone, ci siamo proposti di capire che cosa pensavano *realmente* di queste tecnologie. Per farlo, abbiamo posto loro una serie di domande intese a rivelare come valutavano i rischi. Le loro risposte ci hanno aiutato a capire perché le persone si fanno idee molto nette su questioni che dividono in profondità come l'energia nucleare – e oggi il cambiamento climatico – pur senza conoscere tutti i fatti.

### Ricordati che devi morire

Per cominciare, desideravamo capire fino a che punto il pubblico abbia chiari i rischi della vita quotidiana. Abbiamo chiesto a gruppi di gente comune di stimare il numero annuale di morti per cause come annegamento, enfisema e omicidio, e poi abbiamo confrontato le loro stime con quelle degli scienziati. In base a ricerche precedenti, ci aspettavamo che la gente avrebbe formulato

IN BREVE

**Quando deve valutare** nuovi rischi, la gente si basa su modelli mentali derivati dalle esperienze precedenti, che potrebbero non essere pertinenti.

**Domandando alle persone** come sono arrivate a certe valutazioni, è possibile far emergere i preconcetti fuorvianti.

**Quando parlano di rischi,** gli esperti possono mettere preventivamente alla prova i propri messaggi per essere certi di farsi capire.

Illustrazione di Wesley Allsbrook

previsioni generalmente corrette ma avrebbe sovrastimato le morti dovute a cause che finiscono sui giornali spesso o con grande enfasi – omicidi, uragani – e sottostimato quelle dovute a «killer silenziosi» come ictus e asma, che solo di rado fanno notizia.

Nel complesso, le nostre previsioni sono state confermate. La gente sopravvalutava le cause di morte di cui si parla molto e sottostimava quelle che ricevono meno attenzione. Le immagini degli attacchi terroristici, per esempio, potrebbero spiegare perché chi guarda di più la televisione si preoccupa del terrorismo più di chi la guarda di rado. Però è emerso anche un risultato sconcertante. Le persone fortemente contrarie all'energia nucleare pensavano che fosse responsabile di poche morti all'anno. E allora, perché mai erano contrarie? L'apparente paradosso ci ha spinto a domandarci se la definizione di rischio implicita nella nostra domanda – il numero medio annuo di morti – non fosse troppo limitata. Con una nuova serie di domande, quindi, abbiamo chiesto che cosa realmente significasse «rischio» per la gente. E abbiamo scoperto che chi era contro l'energia nucleare pensava che avesse una forte potenzialità di provocare catastrofi su larga scala. E qualcosa del genere valeva anche per altre tecnologie.

Per vedere se disporre di più informazioni su una certa tecnologia modificava questo andamento, abbiamo posto le stesse domande a dei tecnici esperti. Questi in genere erano d'accordo con le persone comuni sul tributo di morti dovuto ogni anno all'energia nucleare: basso. Ma quando davano una loro definizione di rischio, su scala temporale più ampia, vedevano meno possibilità di problemi. Contrariamente agli esperti, per la gente comune contava ciò che avrebbe potuto accadere in una circostanza particolarmente sfortunata. Quello tra pubblico ed esperti era un dialogo tra sordi; le due parti si concentravano su aspetti diversi della realtà.

Lo psicologo **Baruch Fischhoff** è titolare della cattedra intitolata a Howard Heinz del Dipartimento di ingegneria e politiche pubbliche e dell'Institute for Politics and Strategy della Carnegie Mellon University. È socio della National Academy of Sciences and Medicine ed ex presidente della Society for Risk Analysis.

## Capire il rischio

Ma è sempre vero che gli esperti hanno un'esatta comprensione della probabilità di disastro? Gli esperti analizzano i rischi suddividendo i problemi in parti più facili da conoscere. Nel caso dell'energia nucleare, le parti possono essere per esempio le prestazioni delle valvole, i pannelli di controllo, i piani di evacuazione e le difese contro le minacce cibernetiche. Nel caso dei raccolti OGM, possono essere per esempio gli effetti sulla salute umana, la chimica del suolo e le specie di insetti.

COME CERCA LE RISPOSTE
UNO STUDIOSO DEL COMPORTAMENTO UMANO

## Nella scienza di laboratorio il controllo è assai più stretto che nello studio

del comportamento: la capacità di rilevare effetti lievi nelle persone, per esempio, è assai minore che in chimica. E in più il comportamento delle persone cambia nel tempo e tra le culture. Nella scienza del comportamento, quando si parla di verità è molto importante non solo riprodurre direttamente gli studi ma anche estenderli a un più ampio insieme di situazioni, affiancando studi sul campo, di correlazione e longitudinali.

Quindi, come si misura il razzismo, che non è un singolo comportamento ma un insieme di schemi ricorrenti, un intero sistema attraverso cui della gente viene oppressa? L'approccio migliore è osservare le regolarità dei comportamenti e vedere che succede se si altera una variabile o si tiene conto della sua influenza. Come cambia allora l'andamento? Prendiamo il lavoro della polizia. Se si elimina dall'equazione il pregiudizio, negli andamenti persistono differenze dovute alla razza. Lo stesso vale per la povertà, l'istruzione e tutta una serie di cose che pensiamo servano a prevedere la criminalità. Nessuno di questi fattori è sufficiente a spiegare gli andamenti differenziati per razza dei risultati delle attività di polizia. Questo vuol dire che abbiamo ancora parecchio lavoro da fare. Perché non è che non sappiamo come far funzionare la polizia senza violenza e in modo equo; basta guardare ai sobborghi residenziali: lì lo stiamo facendo da intere generazioni.

Ovviamente, ci sono incertezze. In gran parte delle cose di questo mondo, siamo ben lontani dal poter parlare con sicurezza di cause ed effetti. La nostra responsabilità di scienziati è caratterizzare queste incertezze, perché un errore di calcolo sulle cause di una cosa come il razzismo fa la differenza tra le scelte giuste e quelle sbagliate.

*Phillip Atiba Goff, titolare della Cattedra Franklin A. Thomas in Policing Equity del John Jay College of Criminal Justice presso la City University di New York e presidente del Center for Policing Equity; testo raccolto da Brooke Borel*

Illustrazione di Bud Cook

Qualità e precisione delle analisi del rischio dipendono dalla solidità delle conoscenze scientifiche usate per valutare ciascuna delle sue parti. Per l'energia nucleare e gli OGM la scienza è decisamente solida. Per tecnologie nuove come i veicoli a guida autonoma la storia è diversa. Le componenti del rischio possono essere legate alla probabilità che un sensore «veda» o meno un pedone, alla probabilità che questi si comporti in modo prevedibile e a quella che il guidatore possa riprendere il controllo della vettura al momento giusto quando un pedone non viene visto o si comporta in modo imprevedibile. La fisica dei sensori a base di laser a impulsi è ben compresa, ma le loro prestazioni con neve o nebbia no. Le ricerche su come i pedoni interagiscono con i veicoli a guida autonoma sono appena iniziate. E gli studi indicano che i guidatori non sono in grado di rimanere abbastanza vigili da poter intervenire in casi di emergenza poco frequenti.

Quando la comprensione scientifica non è completa, l'analisi dei rischi non si basa più solo sui fatti accertati ma si affida al giudizio degli esperti. Gli studi dedicati a questi giudizi mostrano che spesso sono decisamente buoni, ma solo se agli esperti arriva un buon flusso di dati di ritorno. Per esempio, i meteorologi confrontano regolarmente le proprie previsioni sulla probabilità che si verifichino precipitazioni con ciò che dicono i pluviometri delle stazioni di rilevamento. Grazie a questo chiaro e rapido confronto tra previsioni ed esiti, quando il meteo prevede una probabilità di pioggia del 70 per cento piove davvero il 70 per cento circa delle volte. Per tecnologie nuove come le auto a guida autonoma o la modifica dei geni, ci vorrà ancora parecchio tempo prima che arrivino i dati di verifica. Fino ad allora, resteremo incerti – anche gli esperti – su quanto siano realmente precise le stime di rischio.

### La scienza delle scienze del clima

Il giudizio degli esperti, che dipende dal flusso dei dati di verifica, entra in gioco quando si tratta di prevedere costi e benefici dei tentativi di rallentare o adattarsi al cambiamento climatico. Le analisi in materia mettono insieme i giudizi degli esperti di molti campi di ricerca, alcuni dei quali sono ovvi, come la chimica dell'atmosfera e l'oceanografia, e altri meno, come botanica, archeologia e glaciologia. Nelle analisi climatiche complesse, questi giudizi degli esperti riflettono una gran massa di conoscenze, alimentate da flussi di dati basati su prove scientifiche. Alcuni aspetti, però, continuano a restare incerti.

Il mio primo incontro con queste analisi risale al 1979, nel quadro di un progetto di programmazione dei successivi vent'anni di ricerche sul clima. Il progetto, sponsorizzato dal Deparment of Energy, era strutturato in cinque gruppi di lavoro. Uno trattava degli oceani e delle regioni polari, un altro della biosfera gestita dall'uomo, un terzo di quella meno gestita e il quarto di economia e geopolitica. Il quinto gruppo, di cui facevo parte io, si occupava delle risposte sociali e istituzionali al pericolo. Già quarant'anni fa c'erano prove sufficienti a rivelare che stavamo giocando d'azzardo in modo pesantissimo con il nostro pianeta. Il nostro rapporto finale, che riassumeva il lavoro di tutti e cinque i gruppi, concludeva: «il probabile esito va al di là dell'esperienza umana».

### Pensare l'impensabile

In che modo, allora, chi fa ricerca in questo campo può assolvere al suo dovere di informare le persone sul metodo più valido di ragionare su eventi e scelte che vanno al di là della loro esperienza? Si può fare se si tengono presenti due lezioni fondamentali che vengono dagli studi dei processi decisionali.

## Pubblici disaccordi sulla scienza

Sulle questioni scientifiche politicamente controverse, la polarizzazione è maggiore tra le persone meglio informate. Gli studiosi hanno visto questo effetto in due sondaggi nazionali condotti negli Stati Uniti nel 2006 e nel 2010 su un totale di oltre 6500 persone. A esse è stato chiesto come la pensavano su diversi temi scottanti e se erano d'accordo con la posizione della comunità scientifica. Con la crescita del livello di istruzione e preparazione scientifica aumentava la divergenza di opinioni tra progressisti e conservatori. Può darsi che questo accada perché le persone più preparate sono più in sintonia con le posizioni del gruppo politico cui aderiscono e si sentono più sicure nel difenderle.

Più aderente alla posizione della comunità scientifica
Meno aderente alla posizione della comunità scientifica

Istruzione generale (Minore – Maggiore) | Istruzione scientifica (Minore – Maggiore) | Preparazione scientifica (Minore – Maggiore)

Bisogna sostenere la ricerca sulle cellule staminali con fondi pubblici

L'universo si è sviluppato a partire dal big bang

Gli esseri umani sono un prodotto dell'evoluzione

Il cambiamento climatico è un problema serio

Identità politica
- Estremamente progressisti
- Progressisti
- Leggermente progressisti
- Centristi
- Lievemente conservatori
- Conservatori
- Estremamente conservatori

Jen Christiansen (*grafica*). Fonte: *Individuals With Greater Science Literacy And Education Have More Polarized Beliefs On Controversial Science Topics*, di Caitlin Drummond e Baruch Fischhoff, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol 114 n. 36, 5 Settembre 2017

**PRIMA LEZIONE.** I fatti della scienza del clima non parlano da soli. La scienza deve essere tradotta in termini rilevanti per le decisioni della gente sulla sua vita, la sua comunità e la società in cui vive. Gli scienziati in genere sono bravi a comunicare dentro le aule, ma là fuori, nel vasto mondo, possono non ricevere abbastanza informazioni di ritorno su quanto i loro messaggi siano chiari e pertinenti.

Il problema della reazione al messaggio si può affrontare per via diretta: prima di far partire un messaggio bisogna metterlo alla prova. Si può imparare molto già chiedendo a qualcuno di leggerlo e parafrasarlo. Quando hanno chiesto a un gruppo di persone di riformulare le previsioni del tempo, per esempio, gli studiosi delle comunicazioni hanno visto che c'è chi è confuso da un'affermazione come «probabilità di pioggia pari al 70 per cento». Il problema sono le parole, non i numeri. Vuol dire che pioverà per il 70 per cento del tempo? Sul 70 per cento della superficie? O che ci sono 70 possibilità su cento che cadano almeno 0,25 millimetri di pioggia su una certa stazione meteo? La risposta esatta è l'ultima.

Molti studi hanno trovato che i numeri, come «70 per cento», in genere comunicano assai meglio dei «quantificatori verbali», come «probabile», «qualche» o «spesso». Un caso classico, relativo agli anni cinquanta, è quello di un rapporto dei servizi di intelligence degli Stati Uniti che diceva: «Un attacco contro la Jugoslavia nel 1951 deve essere considerato una seria possibilità». Quando fu chiesto loro quale probabilità avevano in mente, gli analisti che hanno firmato il documento hanno dato valori che andavano dal 20 all'80 per cento (l'invasione sovietica non ci fu).

A volte le persone, per prendere decisioni, vogliono sapere qualcosa di più della probabilità che cada la pioggia o venga la guerra. Vogliono capire come si è arrivati a quelle probabilità: come funziona la faccenda. Gli studi hanno mostrato che per molti alcuni aspetti cruciali delle ricerche sul cambiamento climatico non sono intuitivi; per esempio il fatto che gli scienziati possono bisticciare fra loro ma comunque essere d'accordo sulla minaccia, o perché l'anidride carbonica sia diversa dagli altri agenti inquinanti (resta più a lungo nell'atmosfera). Se gli scienziati non spiegano bene come li hanno ottenuti, può capitare che la gente rifiuti i risultati delle ricerche.

## Pericoli e minacce

Il modo in cui la gente vede il rischio di varie attività e tecnologie dipende da fattori come la familiarità con essi, la volontarietà o meno dell'esposizione e la probabilità di conseguenze fatali. Novità, esposizione involontaria e potenziale letalità spingono le persone a considerare più grave un certo rischio, a volte in contrasto con i conti e le stime degli scienziati. I risultati qui sotto provengono da questionari somministrati a gente comune e pubblicati inizialmente nel 1978; l'indagine è poi stata ripetuta più volte, con risultati simili.

Esposizione involontaria, poco familiare, nuovo, potenzialmente catastrofico
Esposizione involontaria, familiare, vecchio, rischio cronico
Non sicuramente fatale, comune
Sicuramente fatale, terrorizzante
Energia nucleare
Pesticidi
Coloranti alimentari
Conservanti alimentari
Bombolette spray
Antibiotici
Radiografie
Contraccettivi
Vaccini
Interventi chirurgici
Ferrovie
Elettricità
Veicoli stradali
Aviazione civile
Armi da fuoco
Elettrodomestici
Football americano
Fumo
Edilizia
Tagliaerba a motore
Biciclette
Fare il poliziotto
Motocicli
Fare il vigile del fuoco
Sci
Bevande alcoliche
Caccia
Nuoto
Alpinismo

Jen Christiansen (*grafico*); fonte: Fischhoff B. e Kadvany J., *Risk: A Very Short Introduction*, Oxford University Press, 2011; rielaborato da *How Safe Is Safe Enough? A Psychometric Study of Attitudes Towards Technological Risks and Benefits*, di Fischhoff B. e altri, in «Policy Sciences», Vol. 9, n. 2, aprile 1978

**SECONDA LEZIONE.** Le persone possono essere d'accordo sui fatti ma rimanere in disaccordo su come reagire a essi. Una soluzione che sembra buona a qualcuno può sembrare iniqua o troppo costosa ad altri.

Per esempio, chi è favorevole ai programmi di cattura e sequestro dell'anidride carbonica, perché tengono questo gas serra fuori dall'atmosfera, può essere contrario ad applicarli alle centrali a carbone perché ne teme una conseguenza indiretta: se il carbone diventa più pulito la sua estrazione a cielo aperto in forme distruttive potrebbe diventare più accettabile. Chi conosce le finalità del commercio dei diritti di emissione – incentivare la riduzione delle emissioni – può comunque pensare che convenga alle banche più che all'ambiente.

Questi esempi illustrano il motivo per cui in queste situazioni la comunicazione bidirezionale è così importante. Dobbiamo capire che cos'hanno in testa gli altri e far sì che si sentano coinvolti nei processi decisionali. A volte questo tipo di comunicazione rivela incomprensioni che la ricerca può ridurre. O può trovare soluzioni che accontentano più gente. Un esempio è la carbon tax a impatto zero della British Columbia, il cui gettito serve ad abbassare altre tasse, e che ha ottenuto un sostegno politico tanto vasto da sopravvivere a diversi cambiamenti di governo dal 2008. A volte, ovviamente, una migliore comunicazione bidirezionale metterà in luce disaccordi fondamentali, e in tal caso le scelte si faranno nei tribunali, nelle piazze e nelle cabine elettorali.

### Non c'è solo la scienza

Queste lezioni su come sono comunicati e interpretati i fatti sono importanti perché le decisioni legate al clima non sono sempre basate su quel che dice o mostra la ricerca. Per alcune personele prove scientifiche o gli impatti economici sono meno importanti di ciò che le loro decisioni rivelano sulle loro convinzioni. Queste persone si chiedono in che modo le loro scelte influenzano ciò che gli altri pensano di loro e ciò che pensano di se stessi.

Per esempio c'è chi non applica i consigli per la conservazione dell'energia, non perché sia contrario, ma perché non vuole essere scambiato per un fanatico dell'ecologia. Altri li applicano, ma più come gesto simbolico che perché siano convinti che fac-

**Giovani manifestanti** al corteo dello scorso 27 settembre a Roma nell'ambito della mobilitazione globale Fridays for Future.

Antonio Masiello/Getty Images

cia una vera differenza. Con una serie di questionari, i ricercatori di Yale Climate Connections hanno identificato quelle che hanno chiamato «le sei Americhe», il cui atteggiamento va da allarmato a sprezzante. Le persone ai due estremi sono quelle che hanno maggiore probabilità di adottare misure per conservare energia. Le motivazioni degli allarmati sono quelle prevedibili. Chi sta nel gruppo degli sprezzanti, invece, magari non vedrà la minaccia del cambiamento climatico ma ha visto bene i soldi che può risparmiare riducendo i consumi.

Conoscere la scienza non significa necessariamente essere d'accordo con essa. Lo studio di Yale, insieme a diversi altri, ha trovato che la polarizzazione tra i diversi gruppi aumenta man mano che i loro componenti accrescono le proprie conoscenze su certe questioni legate alla scienza. In una ricerca tuttora in corso Caitlin Drummond, oggi *post doctoral fellow* presso l'Erb Institute dell'Università del Michigan, e io, abbiamo svelato alcuni indizi che potrebbero rendere conto di questo fenomeno. Una possibile spiegazione è che chi ne sa di più abbia maggiori probabilità di conoscere e adottare la posizione su quell'argomento del gruppo politico cui aderisce. Una seconda possibilità è che si senta più sicuro di potersi esprimere in merito. Una terza, legata alle prime due, è che abbia maggiori probabilità di individuare e sfruttare le possibilità di dire la sua rispetto a chi ne sa di meno.

## Decisioni che contano

Anche se nello studio dei processi decisionali c'è ancora molto da imparare, il messaggio complessivo che arriva dalle ricerche su come affrontare le situazioni di incertezza in cui c'è un'alta posta in gioco è ottimistico. Quando gli scienziati comunicano male, spesso questo indica che sono vittime della naturale tendenza umana a sopravvalutare l'altrui comprensione delle proprie parole. Quando le persone comuni commettono errori, spesso questo avviene perché si affidano a modelli mentali che sono stati loro utili in altre situazioni, ma non sono validi nelle circostanze presenti. Quando le persone sono in disaccordo sulle decisioni da prendere, spesso è perché hanno obiettivi differenti, non diverse conoscenze.

In ciascuno di questi casi, la ricerca indica come aiutare le persone a capire meglio gli altri, e se stesse. Lo studio della comunicazione può aiutare gli scienziati a formulare messaggi più chiari. La psicologia dei processi decisionali può aiutare il pubblico a raffinare i propri modelli mentali per interpretare fenomeni nuovi. Riducendo gli errori di comunicazione e mettendo a fuoco i legittimi disaccordi, i ricercatori in questo campo possono contribuire a ridurre i conflitti nella società e a farci affrontare quelli che restano con minori difficoltà. ■

PER APPROFONDIRE

**Risk: A Very Short Introduction.** Fischhoff U.B. e Kadvany J., Oxford University Press, 2011.

**The Science of Science Communication.** «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 111, Supplemento 3, 20 agosto 2013. **http://www.pnas.org/content/110/Supplement_3**

**The Science of Science Communication II.** «Proceedings of the National Academy of Sciences» (numero speciale), Vol. 111, Supplemento 4, 16 settembre 2014. **http://www.pnas.org/content/111/Supplement_4**

**The Science of Science Communication III: Inspiring Novel Collaborations and Building Capacity: Proceedings of a Colloquium.** National Academy of Sciences, National Academies Press, 2018.

DATA SCIENCE

# Confrontare le incognite

## Come interpretare l'incertezza nelle forme più comuni di visualizzazione dei dati

*di Jessica Hullman*

**Jessica Hullman** insegna informatica e giornalismo alla Northwestern University. Insieme al suo gruppo di ricerca sviluppa e valuta tecniche di visualizzazione e interazione con i dati per favorire le riflessioni sull'incertezza.

**Quando seguono lo spostamento di un uragano, spesso i meteorologi mostrano una mappa che contiene un «cono di incertezza», una figura che parte da un punto – la posizione attuale dell'uragano – e si allarga in una fascia che rappresenta il territorio che la tempesta tropicale potrebbe attraversare nei giorni successivi. Il percorso più probabile è lungo l'asse del cono; andando verso gli spigoli, la probabilità decresce. Ma c'è un problema: molti interpretano erroneamente il cono come la dimensione della futura tempesta.**

I ricercatori hanno scoperto che questo fraintendimento può essere prevenuto se i meteorologi, anziché il cono, mostrano un insieme delle traiettorie possibili. Anche questo approccio, però, può introdurre degli equivoci: molte persone credono che la probabilità di danni sia maggiore nei punti lungo le tracce e minore negli spazi tra due linee (mappe).

L'incertezza pervade tutti i dati usati dagli scienziati e dalle varie istituzioni per orientare le decisioni. Le rappresentazioni grafiche delle informazioni possono aiutare a chiarire questa indeterminatezza, oppure peggiorare ulteriormente la confusione. Idealmente, le visualizzazioni ci aiutano a esprimere valutazioni – analitiche ed emotive – sulle probabilità dei diversi risultati. Molte prove raccolte sul modo di ragionare degli uomini, tuttavia, suggeriscono che spesso, quando si chiede a qualcuno di esprimere un giudizio che richiede una valutazione probabilistica, l'incertezza non sia presa in considerazione. Con una società che sempre più si affida ai dati numerici, i graphic designer stanno cercando di capire quali siano i modi migliori di rappresentare visivamente l'incertezza.

Ecco una galleria di tecniche di visualizzazione dell'incertezza ordinate, grosso modo, dalla meno efficace alla più efficace. Vedere come sono scelti e realizzati i diversi approcci può aiutarci a diventare più competenti nella fruizione dei dati e delle incertezze in essi contenuti. ■

**Il «cono di incertezza»** (*a sinistra*) mostra dove un uragano potrebbe dirigersi secondo un gruppo di previsioni. Un'alternativa consiste nell'illustrare il percorso specifico ottenuto da ciascuna previsione (*a destra*). Quando si tratta di aiutare le persone a valutare i possibili rischi, entrambi gli approcci hanno i loro pro e contro; nel grafico a destra, tuttavia, risulta più chiaro che il percorso esatto è difficile da prevedere.

Tiffany Farrant-Gonzalez (*mappe*); fonti: National Hurricane Center (*cono di incertezza*); *Visualizing Uncertain Tropical Cyclone Predictions using Representative Samples from Ensembles of Forecast Tracks*," di Le Liu e altri, in «IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics», Vol. 25; 20 agosto 2018 (*percorsi multipli della tempesta*)

Gruppo A

Gruppo B

Gruppo C

Gruppo A
Gruppo B
Gruppo C
0 20 40 60

## Nessuna quantificazione

Il modo meno efficace di presentare l'incertezza è evitare di mostrarla. A volte i *graphic designer* cercano di compensare la mancanza di un'indeterminazione definita scegliendo una tecnica che implica una certa imprecisione, ma non la quantifica. Per esempio, un designer potrebbe associare i dati a una variabile visiva difficile da definire, per esempio un cerchio che fluttua nello spazio (*in alto*), anziché a un punto in un grafico con un asse *x* e un asse *y*. Questo approccio rende l'interpretazione del lettore più soggetta a errori. In alternativa, alcuni scelgono di usare un programma che crea l'impressione di un disegno fatto a mano o di uno schizzo appena abbozzato (*in basso*). Entrambe le tecniche sono rischiose.

**PRO**

- Se i lettori sentono che un'infografica è difficile da quantificare o è semplicemente approssimativa, possono essere più cauti nel trarre conclusioni o nel prendere decisioni basate su di essa.

**CONTRO**

- I lettori possono non capire che la visualizzazione vuole trasmettere imprecisione e possono trarre conclusioni che contengono gravi errori.
- Anche se capiscono che il tipo di visualizzazione è stato scelto per rappresentare l'incertezza, non hanno modo di quantificarla.

## Gli intervalli

Gli intervalli sono forse il modo più comune per rappresentare un'incertezza quantificata. Le barre di errore (*in alto*) e le bande di confidenza (*in basso*) sono molto note, ma anche se possono sembrare precise e immediate, sono notoriamente difficili da interpretare in modo corretto. Le ricerche mostrano che sono spesso fraintese anche dagli stessi scienziati.

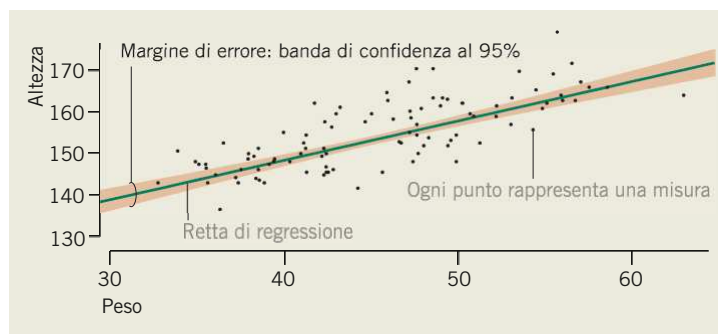
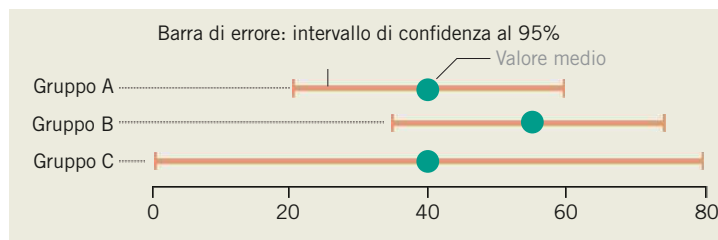
**PRO**

- Sono ampiamente riconosciute come rappresentazione dell'incertezza.
- Offrono un formato semplice per esprimere la possibilità che esistano diversi valori.
- La scelta dell'intervallo può essere personalizzata per più domande sullo stesso insieme di dati. Per esempio, quando si fanno inferenze sull'intervallo di valori in una popolazione, sono utili gli intervalli basati sulla deviazione standard; per inferenze sull'intervallo di valori di un indice come la media, sono appropriati intervalli basati sull'errore standard.

**CONTRO**

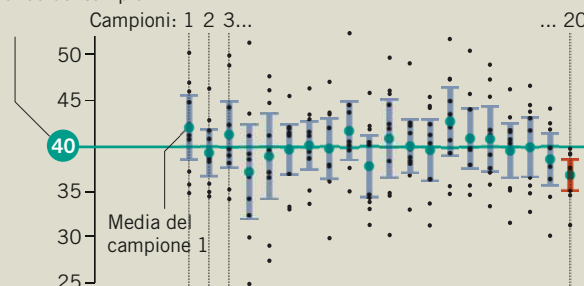
- Ambiguità in ciò che si mostra: gli intervalli possono rappresentare la deviazione standard, l'errore standard o qualcos'altro. Ognuno ha un'interpretazione diversa.
- I lettori possono commettere i cosiddetti «errori interpretativi deterministici»: interpretare gli estremi delle barre di errore come i valori più alti e più bassi delle misure, anziché come stime che denotano incertezza.
- Le barre di errore possono portare al «bias della barra», comune nei grafici a barre. Nell'esempio in basso, i lettori possono pensare che i valori della barra a destra dei pallini siano più probabili di quelli a sinistra.
- E' facile ignorare le aree di incertezza a favore della tendenza centrale, cosa che può portare a decisioni sbagliate.

Barra di errore: intervallo di confidenza al 95%
Valore medio
Gruppo A
Gruppo B
Gruppo C
0 20 40 60 80

Margine di errore: banda di confidenza al 95%
Altezza
170 160 150 140 130
Ogni punto rappresenta una misura
Retta di regressione
30 40 50 60
Peso

La vera media della popolazione, che può essere stimata soltanto prelevando dei campioni

20 campioni ipotetici, ognuno costituito dallo stesso numero di osservazioni - scelte a caso - sulla popolazione (puntini neri)

Campioni: 1 2 3... ... 20
50 45 40 35 30 25
Media del campione 1

Mediamente, un intervallo di confidenza al 95% su 20 non contiene la media della popolazione (anche se i calcoli sono perfetti)

### Che cos'è un intervallo di confidenza?

Un modo naturale di interpretare una barra di errore o una banda di confidenza che denotino il 95 per cento di confidenza è che l'intervallo in questione abbia una probabilità del 95 per cento di contenere il valore vero. In realtà, i numeri si riferiscono alla percentuale di intervalli di confidenza che includerebbero il valore vero estraendo dai dati infiniti campioni casuali della stessa dimensione, ogni volta costruendo un intervallo al 95 per cento. Anche se in pratica questa diffusa interpretazione può non cambiare drasticamente le decisioni prese, il fatto che persino gli scienziati commettano errori del genere mostra quanto sia difficile interpretare correttamente le rappresentazioni grafiche dell'incertezza.

Jessica Hullman e Jen Christiansen (*grafica*)

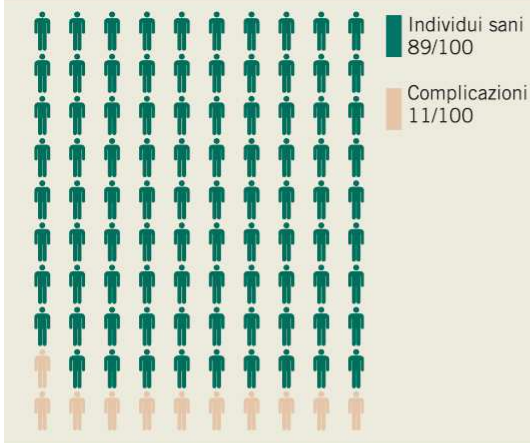
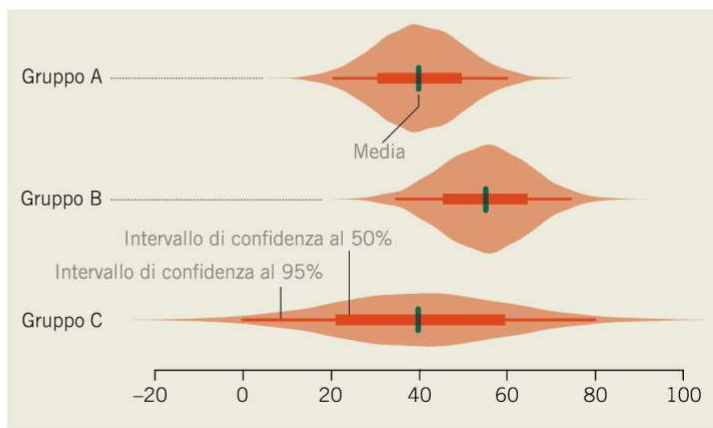
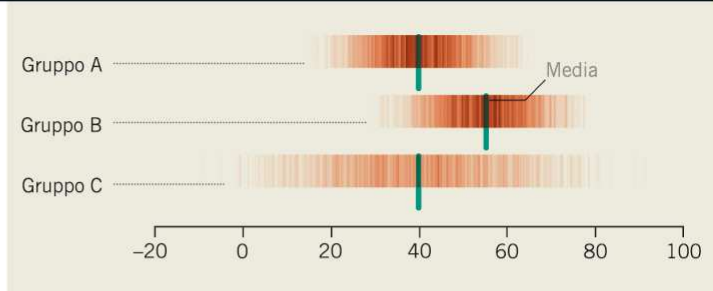
## Mappe della densità di probabilità

I graphic designer possono associare l'incertezza direttamente a una caratteristica visiva dell'infografica. Per esempio, un gradiente di colori può passare da una tonalità scura (alta probabilità) al centro, a tonalità più chiare (bassa probabilità) alle estremità (*in alto*). In un diagramma a violino (*violin plot*), i punti più ampi indicano una probabilità maggiore (*in basso*). Associando la densità di probabilità a una variabile visiva, l'incertezza è illustrata con maggior dettaglio rispetto ai metodi degli intervalli (barre di errore e bande di confidenza); l'efficacia di questa tecnica dipende però dalla capacità dei lettori di percepire le differenze di tonalità, di dimensioni o di altre caratteristiche visive.

**PRO**

- Spesso sono coerenti con l'intuizione: a una tonalità più scura o a bordi più definiti è associata una maggiore sicurezza, a una tonalità più chiara o a bordi meno definiti una maggiore incertezza.
- Si evitano bias comuni ed equivoci, come quelli visti nell'esempio degli intervalli.

**CONTRO**

- I lettori possono non riconoscere che la densità di colore riflette la probabilità.
- I lettori spesso fanno coincidere la parte della visualizzazione più facile da leggere (più scura, più ampia) con i dati veri e propri, e fraintendono le parti più difficili da leggere (più chiare, più ristrette), scambiandole con l'incertezza.
- Le stime possono soffrire di un bias verso i punti più scuri o più alti.
- Può essere difficile dedurre valori di probabilità specifici.







## Icone in fila

Riformulare una probabilità come una frequenza (anziché il 30 per cento, tre su dieci) può facilitare la comprensione dell'incertezza e, di conseguenza, far sì che le persone usino le informazioni nel modo corretto. Le probabilità discrete possono essere più facili da capire perché le incontriamo nella vita di tutti i giorni.

**PRO**

- Tecnica più ovvia di altre, perché i lettori possono vedere rapidamente che la probabilità è analoga al numero di volte in cui compare un certo simbolo.
- Se si usa un numero ridotto di simboli, i lettori possono fare stime rapide: il nostro sistema visivo riconosce immediatamente le piccole quantità, senza bisogno di contare.

**CONTRO**

- E' possibile presentare soltanto una singola probabilità per volta.

## Campioni multipli nello spazio

Disegnando campioni multipli disposti nello spazio, diventa possibile illustrare la probabilità in modo discreto per una o più variabili. Un esempio di questo approccio è il *quantile dot plot*, in cui alcuni casi dei quantili della distribuzione dei dati sono rappresentati in modo che il numero di pallini indichi la probabilità (per esempio, nell'illustrazione in basso, la probabilità è associata al numero di pallini in ciascuna pila). Quando c'è un'incertezza sui valori dei parametri da cui si traggono le stime, per esempio le condizioni iniziali, è possibile generare campioni in cui li si fanno di volta in volta variare, e poi mostrare tutti i risultati così ottenuti in un'unica visualizzazione.

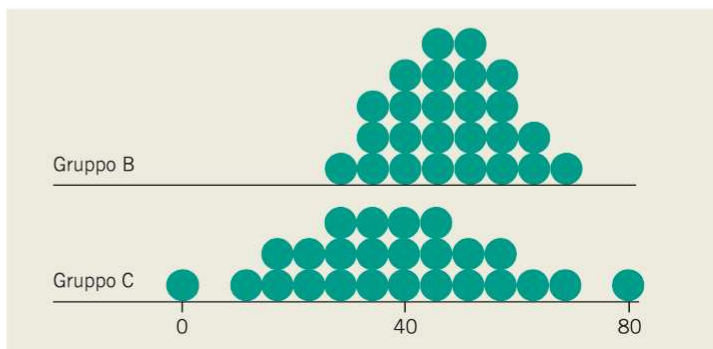
**PRO**

- Un designer può scegliere quanti campioni inserire nel grafico; l'ideale è che siano abbastanza da rappresentare la distribuzione, ma non così tanti da rendere difficile distinguere i singoli campioni.

**CONTRO**

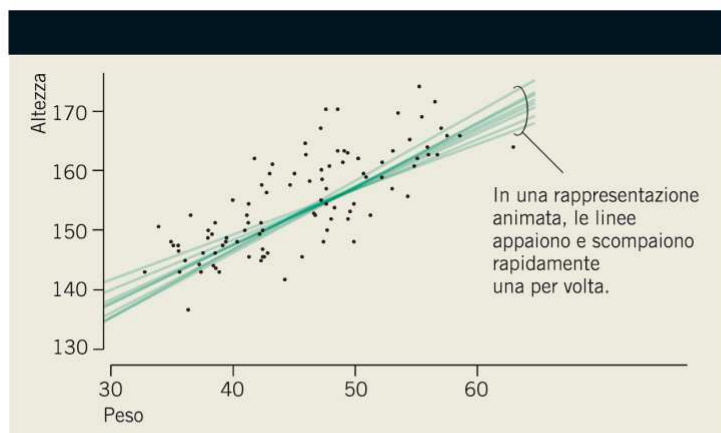
- Infografiche con molti campioni di dati possono essere troppo affollate, rendendo più soggette a errori le stime delle probabilità.
- Il campionamento introduce imprecisione, soprattutto se la distribuzione è molto deformata dalla presenza di valori isolati.



Jessica Hullman e Jen Christiansen (*grafica*)

## Un ago ballerino nella notte elettorale

A volte, mostrare visivamente l'incertezza può provocare reazioni controverse. Negli Stati Uniti, durante la notte elettorale delle elezioni presidenziali del 2016, il *New York Times* pubblicò sul proprio sito web un'infografica animata che mostrava le previsioni dei risultati in tempo reale. Una serie ininterrotta di blocchi colorati costituiva lo sfondo: si andava da una vittoria schiacciante di Clinton (*a sinistra*) a una vittoria schiacciante di Trump (*a destra*). Il modello dei dati a monte dell'infografica si aggiornava più volte al minuto, con l'arrivo di nuovi risultati locali. Un ago animato si spostava rapidamente di qua e di là, ancora più spesso di quanto il modello venisse aggiornato.

Una visualizzazione in costante cambiamento, in una notte che lasciava presagire eventi inaspettati, mise ansia a molti spettatori. Le visualizzazioni dell'incertezza *dovrebbero* provocare un'ansia proporzionale all'indeterminazione dei dati, ma dopo decenni in cui le proiezioni dei risultati elettorali erano state visualizzazioni statiche, che consentivano di trascurare l'incertezza, il passaggio a un'infografica che provocava una reazione viscerale all'insicurezza fu destabilizzante.

Probabilità di vincere le elezioni

Altezza
170
160
150
140
130
30
40
50
60
Peso
In una rappresentazione animata, le linee appaiono e scompaiono rapidamente una per volta.

## Campioni multipli nel tempo

Rappresentando molti risultati possibili come se fossero i fotogrammi di un cartone animato, l'incertezza è colta istintivamente e diventa molto più difficile da ignorare. Questa tecnica, detta del risultato ipotetico (*hypothetical outcome plot*), può essere usata per visualizzazioni semplici o complesse. Gli studi sulla percezione indicano che siamo sorprendentemente bravi a dedurre la distribuzione dei dati dalla frequenza delle occorrenze: non abbiamo necessariamente bisogno di contare il numero di volte in cui un evento ha luogo per stimarne la probabilità. Un fattore importante è la velocità degli eventi, che deve essere abbastanza alta da consentire di mostrare un numero di campioni sufficiente, ma anche abbastanza bassa perché le persone possano registrare consapevolmente ciò che hanno visto.

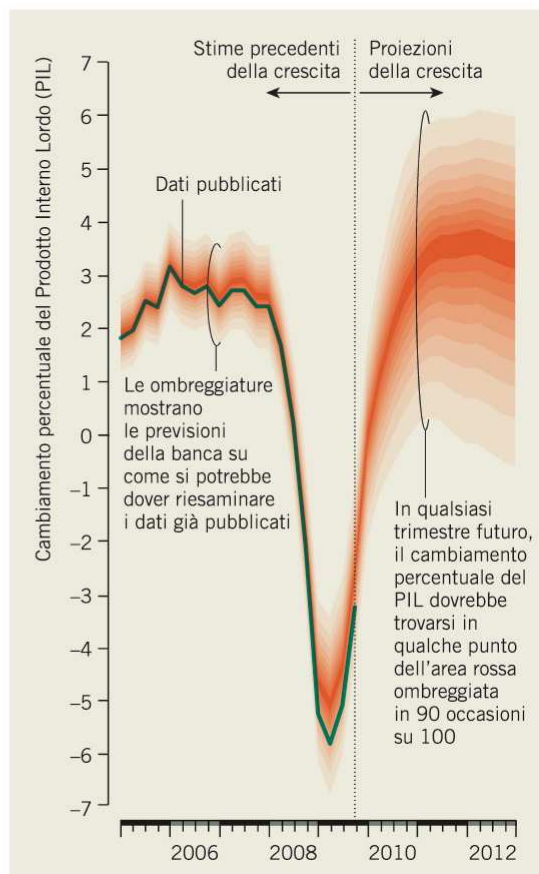
**PRO**

- Il sistema visivo umano può stimare le probabilità con una buona precisione, senza dover necessariamente contare gli elementi presentati.
- Questa tecnica può essere applicata a tipi di dati e a stili di visualizzazioni molto diversi fra loro.
- L'animazione rende possibile stimare probabilità che coinvolgono molteplici variabili, cosa difficile da fare con i grafici statici.

**CONTRO**

- Il campionamento introduce imprecisione, soprattutto se la distribuzione è molto deformata dalla presenza di valori isolati.
- Non ci sono garanzie sul numero di campioni a cui il lettore/spettatore presterà attenzione.
- Richiede la creazione di una visualizzazione dinamica o animata, difficile da supportare in alcuni mezzi di comunicazione: per esempio, le riviste scientifiche.

## Approcci ibridi

Anziché scegliere un «modello» standardizzato, i graphic designer possono creare visualizzazioni dell'incertezza efficaci combinando tecniche diverse. Un esempio è il grafico a ventaglio (*fan chart*) reso famoso dalla Banca d'Inghilterra (*in figura*). Rappresenta i dati fino al presente (*a sinistra della linea puntinata*), poi le previsioni sul futuro (*a destra della linea*); l'incertezza sul passato è una componente importante nella valutazione dell'incertezza sul futuro. Nel grafico a ventaglio si passa dai valori più probabili (*tonalità più intense*) ai meno probabili (*tonalità più tenui*) in una successione di fasce che rappresentano i diversi livelli di confidenza, a scelta del lettore. I lettori possono percepire l'informazione dalla posizione dei bordi delle fasce, oltre che dall'intensità della tonalità. Alcuni software moderni ideati per costruire grafici statistici rendono facile la combinazione di approcci diversi per far visualizzare l'elemento dell'incertezza.

Stime precedenti della crescita
Proiezioni della crescita
Cambiamento percentuale del Prodotto Interno Lordo (PIL)
Dati pubblicati
Le ombreggiature mostrano le previsioni della banca su come si potrebbe dover riesaminare i dati già pubblicati
In qualsiasi trimestre futuro, il cambiamento percentuale del PIL dovrebbe trovarsi in qualche punto dell'area rossa ombreggiata in 90 occasioni su 100
2006
2008
2010
2012

Tiffany Farrant-Gonzalez (*illustrazione, ago delle elezioni*); fonte: *Inflation Report*, Bank of England (febbraio 2010) (*grafico del PIL*)

### PER APPROFONDIRE


**Picturing the Uncertain World: How to Understand, Communicate, and Control Uncertainity through Graphical Display.** Weiner H., Princeton University Press, 2009.

**Visualizing Uncertainty.** Wilke C.O., in *Fundamentals of Data Visualization*, O'Reilly Media, 2019.

**Uncertainty + Visualization, Explained.** Hullman J. e Kay M., serie di post: **https://medium.com/multiple-views-visualization-research-explained**.

**Salviamo i big data.** Pentland A.S., in «Le Scienze» n. 554, ottobre 2014.

PSICOLOGIA SOCIALE

# Cambiamento radicale

## L'incertezza nel mondo minaccia il nostro senso del sé, per affrontarla le persone abbracciano il populismo

*di Michael A. Hogg*

**Le società umane si riorganizzano costantemente, provocando sconvolgimenti profondi nella nostra vita sociale. A cavallo tra il XVIII e il XIX secolo la rivoluzione industriale ha frammentato le comunità perché le persone si sono trasferite per lavorare, all'inizio del XX secolo il disfacimento degli imperi ha ridisegnato le nazioni e le identità nazionali, e negli anni trenta del Novecento la grande depressione ha distrutto la sicurezza economica e le prospettive future della popolazione. Tuttavia quella in cui viviamo è un'epoca segnata da un'incertezza che forse non ha precedenti. L'inizio del XXI secolo è stato caratterizzato da cambiamenti rapidi e travolgenti: globalizzazione, immigrazione, rivoluzione tecnologica, accesso illimitato alle informazioni, volatilità sociopolitica, automazione del lavoro e clima sempre più caldo. Ciascuno di noi ha bisogno di un senso di identità stabile e di un proprio posto nel mondo, e per molte persone la velocità e la portata di un simile cambiamento possono essere alienanti. Il motivo è che il nostro senso del sé è un principio organizzativo fondamentale per le nostre percezioni, sentimenti, atteggiamenti e azioni.**

In genere è radicato nei nostri rapporti interpersonali più stretti – amici, familiari, partner – e nella varietà di gruppi e categorie sociali a cui apparteniamo e con cui ci identifichiamo: la nostra nazionalità, religione, etnia o professione. Ci permette di prevedere con un certo grado di sicurezza come ci vedranno e ci tratteranno gli altri.

Immaginiamo di affrontare tutte le situazioni e le persone che si incontrano nella vita quotidiana e di sentirci costantemente insicuri su chi siamo, come dobbiamo comportarci e come si svilupperanno le interazioni sociali. Ci sentiremmo disorientati, ansiosi, stressati, esauriti sotto l'aspetto cognitivo e privi di organizzazione e di controllo. In realtà questa insicurezza di sé può essere percepita anche come una sfida emozionante, se sentiamo di avere le risorse materiali, sociali e psicologiche per superarla. Se al contrario sentiamo di non avere queste risorse, allora possiamo percepirla come una grave minaccia per noi e per il posto che abbiamo nel mondo.

In generale, l'insicurezza di sé è una sensazione che si preferisce evitare. Quando le persone sanno sempre meno chi sono e che ruolo hanno in questo scenario in rapido cambiamento, può diventare davvero un problema per la società: anzi, lo è già diventato. Le persone sostengono e legittimano leader autoritari, aderendo in massa a ideologie e visioni del mondo che promuovono e celebrano il mito di un passato glorioso. Temendo chi è diverso da loro, le persone cercano omogeneità e restano inebriate dalla libertà di accedere solo a informazioni che confermano chi sono o chi vorrebbero essere. Di conseguenza sta avanzando il populismo globale.

Illustrazione di Wesley Allsbrook

### Alla ricerca di un'identità sociale

Una notevole fonte di identità è costituita dai gruppi sociali. Possono essere molto efficaci nel ridurre l'insicurezza di sé in una persona, soprattutto se sono gruppi distintivi e i loro membri condividono un senso di interdipendenza.

I gruppi rivestono questo ruolo essenziale nel fissare chi siamo perché sono categorie sociali e, come dimostra la ricerca, la categorizzazione sociale è onnipresente. Una persona categorizza le altre, dividendo chi è «dentro» il gruppo da chi ne è «fuori». Assegna ai primi le caratteristiche e lo status sociale del gruppo, costruendo così un mondo soggettivo in cui i gruppi internamente sono omogenei, mentre le differenze tra loro sono esagerate e polarizzate in modo etnocentrico. E, poiché categorizziamo anche noi stessi, interiorizziamo come parte di noi le caratteristiche condivise che definiscono il gruppo. Per costruire l'identità sociale ci circondiamo psicologicamente di chi è come noi.

Questo processo psicologico, che porta a identificarsi con i gruppi e a comportarsi come loro membri, prende il nome di categorizzazione sociale. Fissa e cristallizza il nostro senso del sé, assegnandoci un'identità che stabilisce come dobbiamo comportarci, pensare e interpretare il mondo. Inoltre rende prevedibile l'interazione, ci permette di mettere in conto come le persone ci tratteranno e che cosa penseranno di noi, e offre una conferma consensuale dell'identità: le persone come noi – i membri del gruppo – convalidano chi siamo.

Di per sé, questo meccanismo di insicurezza di sé e identità sociale non è un male: permette l'organizzazione collettiva alla base della società umana. Individualmente le persone non sono in grado di realizzare le imprese dell'umanità che richiedono la coordinazione di molti al servizio degli obiettivi comuni. Questa dinamica tuttavia diventa un problema quando il senso di insicurezza di sé e minaccia all'identità è acuto, persistente e generalizzato. In questo caso le persone sentono un bisogno travolgente di identità: non una qualsiasi, ma una che sia ben attrezzata per affrontare queste sensazioni di disorientamento e perfino paura.

### Ridurre l'insicurezza con l'appartenenza a un gruppo

Alcune caratteristiche dei gruppi e delle identità sociali sono particolarmente adatte a ridurre l'insicurezza di sé. Innanzitutto, ciascun gruppo deve essere polarizzato rispetto agli altri e avere confini inequivocabili che distinguano chi è «dentro» e chi è «fuori». All'interno deve avere una struttura chiara, di solito con una gerarchia. Queste caratteristiche rendono il gruppo coeso e omogeneo, in modo che i membri siano interdipendenti e concordi nel condividere un destino comune.

La diversità e il dissenso riportano l'insicurezza, e quindi si evitano. Quando però queste sfaccettature compaiono, le singole persone e il gruppo nel suo insieme reagiscono con decisione e durezza, creando un'atmosfera di sospetto che pone le basi per la persecuzione dei presunti devianti. Offre l'occasione alle antipatie e vendette personali di intensificarsi, con il pretesto di proteggere la coesione.

L'accettazione dei membri del gruppo e la piena fiducia in loro sono importanti non solo per il gruppo, ma anche per i membri stessi. D'altronde hanno un bisogno disperato di inclusione, in modo da vedere confermata la propria identità e quindi ridurre l'insicurezza. Chi aspira a entrare nel gruppo o l'ha appena fatto – così come chi teme di essere visto con sospetto oppure non è sicuro di essere accettato pienamente – si spinge fino all'estremo per il bene del gruppo, per dimostrare di essergli fedele e degno di farne parte. Queste persone sono a rischio di fanatismo e radicalizzazione. I neonazisti e i suprematisti bianchi che compiono pubblicamente atti violenti di terrorismo e odio razziale sono un esempio di questo estremismo.

**I processi psicologici che portano all'insicurezza di sé e all'identità sociale non sono necessariamente un male, perché permettono l'organizzazione collettiva alla base della società umana**

Inoltre l'identità sociale rappresentata da simili gruppi non deve avere complicazioni, per poter essere accettata senza riserve come «la verità». Sottigliezze e sfumature sono un'eresia, perché ostacolano la riduzione dell'insicurezza. La chiarezza sulle posizioni del gruppo permette ai suoi membri di sapere che cosa devono pensare e sentire, e anche come devono comportarsi. Queste identità si rafforzano avendo un'ideologia forte che identifica gruppi esterni sgradevoli e in sfacelo morale, che si possono demonizzare attribuendo loro il ruolo di «nemico». In questo ambiente fioriscono le teorie complottiste secondo cui questi esterni avrebbero vittimizzato il gruppo nel corso della storia.

### Come l'incertezza stimola il populismo

Se l'insicurezza di sé stimola le persone a identificarsi con un gruppo e a interiorizzare quell'identità come parte essenziale di ciò che sono, allora devono essere sicure di sapere esattamente che identità ha il gruppo. Quando avete bisogno di quelle che *voi*

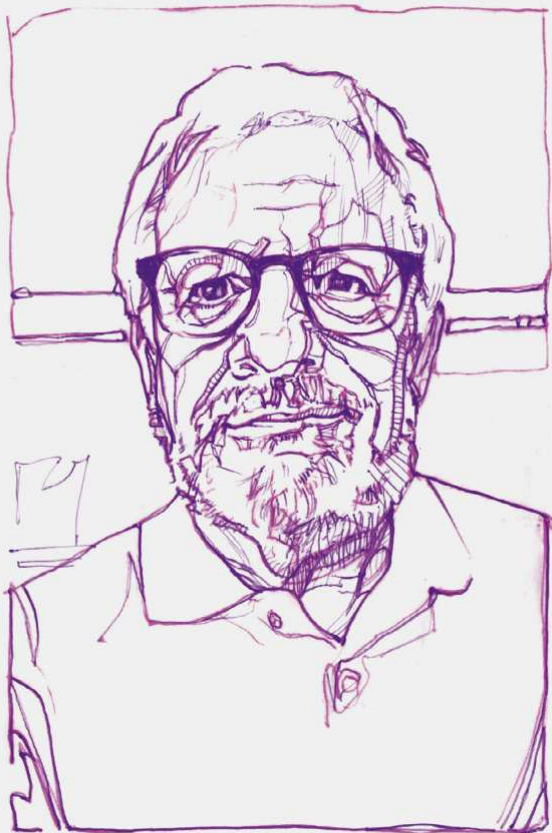
**Michael A. Hogg** è professore di psicologia sociale alla Claremont Graduate University, negli Stati Uniti, ed è professore onorario all'Università del Kent nel Regno Unito. È stato presidente della Society of Experimental Social Psychology, è direttore della rivista «Group Processes & Intergroup Relations» e membro di numerose società, tra cui l'Association for Psychological Science.

IN BREVE

**I cambiamenti rapidi** e sconvolgenti possono minacciare il senso del sé e dell'identità.

**L'insicurezza di sé incoraggia** le persone a cercare un'identificazione più forte in un gruppo, oltre che a preferire una leadership in grado di incoraggiare pregiudizi di conferma e populismo.

**Questi due fattori** sono stimolati ed esasperati dalla disponibilità illimitata di informazioni e dall'accesso a gruppi estremisti in Internet.

## COME UN NEUROSCIENZIATO CERCA LE RISPOSTE

**Contrariamente a quanto molti potrebbero pensare, la scienza** non cerca la verità. Il suo vero obiettivo consiste piuttosto nel cercare domande migliori. Facciamo esperimenti perché c'è qualcosa che ignoriamo e vogliamo saperne di più, e a volte questi esperimenti falliscono. Ma quello che impariamo dalla nostra ignoranza e dai nostri errori apre la strada a nuove domande e nuove incertezze. E sono domande e incertezze migliori, che portano a nuovi esperimenti. E così via.

Pensiamo al mio settore, la neurobiologia. Per una cinquantina d'anni la domanda fondamentale sul sistema sensoriale è stata: quali informazioni si trasmettono al cervello? Per esempio, che cosa dicono i nostri occhi al cervello? Adesso vediamo un'inversione di quell'idea: in realtà è il cervello a fare domande al sistema sensoriale. Può darsi che il cervello non si limiti a setacciare enormi quantità di informazioni visive, provenienti per esempio dall'occhio, ma chieda invece all'occhio di cercare determinate informazioni. Nella scienza ci sono inevitabilmente questioni che restano in sospeso e piccoli vicoli ciechi. Anche quando si pensa di avere chiarito tutto, c'è sempre qualcosa di nuovo e inaspettato. Ma l'incertezza ha un valore. Non deve creare ansia: è un'occasione.

*Stuart Firestein è professore del Dipartimento di scienze biologiche della Columbia University; testo raccolto da Brooke Borel*

Illustrazione di Bud Cook

ritenete fonti credibili e fidate di informazioni sull'identità, a chi vi rivolgete? Il primo punto di riferimento è chi, secondo voi, raccoglie il consenso del gruppo come suo leader: in genere questo ruolo è riconosciuto anche formalmente.

Secondo recenti ricerche sul modo in cui l'insicurezza di sé influisce sul tipo di leader preferito delle persone, la situazione potenzialmente è preoccupante. In fondo le persone hanno bisogno di qualcuno che dica loro che cosa fare, e tanto meglio se queste direttive arrivano da chi possono considerare affidabile, «uno di noi». È stato dimostrato che inoltre le persone insicure preferiscono leader risoluti e autoritari, perfino autocratici, in grado di trasmettere un messaggio semplice, senza vie di mezzo e chiaro su «chi siamo», invece di un messaggio identitario più aperto, sfumato e complesso. L'aspetto forse più preoccupante è che l'insicurezza di sé può legittimare e sostenere leader che presentano la cosiddetta «triade oscura» di tratti della personalità: machiavellismo, narcisismo e psicopatia. In altre parole, a quanto pare l'insicurezza di sé alimenta il populismo.

Un'altra fonte di informazioni sull'identità sono «le persone come voi»: a vostro giudizio, anche loro incarnano l'identità del gruppo e hanno una visione del mondo come la vostra. Possono essere persone con le quali interagite dal vivo, come gli amici, oppure fonti di informazione come i canali radiotelevisivi che seguite, in particolare i notiziari. Oggi tuttavia tra queste fonti predominano i centri di informazione e influenza in Internet, come siti web, *social media*, *feed* di Twitter, *podcast* e così via.

Il Web è il luogo ideale per ridurre il disagio dell'insicurezza di sé: offre un accesso continuo a una quantità illimitata di informazioni, spesso selezionate con cura dagli utenti stessi e dagli algoritmi, che lo fanno con discrezione. Perciò le persone accedono solo alle informazioni che confermano la loro identità. Il pregiudizio di conferma, un pregiudizio potente e universale insito nella natura umana, è particolarmente forte in situazioni di incertezza, separa le informazioni e gli universi identitari che frammentano e polarizzano la società. In rete è facile cercare gruppi che dal vivo potrebbero essere meno accessibili.

Inoltre Internet rafforza ulteriormente il pregiudizio di conferma in caso di incertezza, perché le persone vogliono essere circondate da chi la pensa come loro, in modo da avere continue conferme della propria identità e visione del mondo. Quindi i contorni della «verità» combaciano con questi universi autosufficienti di identità sociale. In uno scenario del genere non ci sono verità assolute, né la motivazione per cercare seriamente e adottare punti di vista alternativi, perché annullerebbero il potere dell'identità sociale di ridurre l'insicurezza di sé. Questa dinamica contribuisce a spiegare perché le persone si soffermino in camere dell'eco (*echo chamber*) sempre più omogenee, che confermano la loro identità. ■

### PER APPROFONDIRE


**Uncertainty-Identity Theory.** Hogg M.A., in *Handbook of Theories of Social Psychology*, Vol. 2, Van Lange P.A.M., Kruglanski A.W. e Higgins E.T. (*a cura*), Sage Publications, 2012.

**From Uncertainty to Extremism: Social Categorization and Identity Processes.** Hogg M.A., in «Current Directions in Psychological Science», Vol. 23, n. 5, pp. 338-342, ottobre 2014.

**Il tribalismo e l'idea di verità.** Fisher M., Knobe J., Strickland B. e Keil F.C., in «Le Scienze» n. 596, aprile 2018.

**La Babele di Internet.** Quattrociocchi W., in «Le Scienze» n. 596, aprile 2018.

COMUNICAZIONE

# Un nuovo disordine mondiale

## La nostra propensione a condividere contenuti senza riflettere è sfruttata per diffondere disinformazione

*di Claire Wardle*

**Come studiosa dell'impatto della cattiva informazione sulla società, spesso mi trovo a desiderare che i giovani imprenditori della Silicon Valley, che ci hanno dato modo di comunicare così in fretta, fossero stati obbligati a simulare uno scenario da 11 settembre con le loro tecnologie prima di schierarle sul mercato.**
**Una delle immagini più significative di quella giornata mostra un folto gruppo di newyorkesi con lo sguardo fisso verso l'alto. La forza di quella fotografia è che conosciamo l'orrore di cui sono testimoni. È facile immaginare che, oggi, in quella scena quasi tutti avrebbero in mano uno *smartphone*. Qualcuno filmerebbe ciò che vede per pubblicarlo su Twitter e Facebook. Alimentate dai *social media*, voci non confermate e cattive informazioni dilagherebbero.**

Prolifererebbero i messaggi di odio contro la comunità musulmana, ipotesi e rabbia crescerebbero sotto la spinta degli algoritmi in risposta a livelli senza precedenti di condivisioni, commenti e «mi piace». Agenti stranieri della disinformazione amplificherebbero le divisioni, scavando fossati tra le comunità e seminando il caos. E intanto le persone rimaste bloccate ai piani alti delle torri trasmetterebbero in diretta i loro ultimi momenti.

Sottoporre la tecnologia a qualche stress test nel contesto dei peggiori momenti della storia avrebbe potuto evidenziare quello che scienziati sociali e propagandisti sanno da molto tempo: gli esseri umani sono programmati per rispondere a detonatori emotivi e a condividere cattive informazioni se confermano i loro pregiudizi e convinzioni. Invece i progettisti delle piattaforme social erano fervidamente convinti che l'essere connessi avrebbe favorito la tolleranza e contrastato l'odio. Non avevano capito che la tecnologia non avrebbe cambiato quello che fondamentalmente siamo; non avrebbe potuto fare altro, invece, che adattarsi ai caratteri già esistenti degli esseri umani.

Su Internet la cattiva informazione è in circolazione dalla metà degli anni novanta. Ma nel 2016 diversi eventi hanno chiarito che sono emerse forze più oscure: automazione, messaggi altamente profilati e coordinamento hanno alimentato campagne informative progettate per manipolare l'opinione pubblica su larga scala. I primi a dare l'allarme sono stati alcuni giornalisti delle Filippine, quando Rodrigo Duterte è arrivato al potere sull'onda di un'intensa attività su Facebook. Poi ci sono stati i risultati inattesi del referendum sulla Brexit nel Regno Unito e delle elezioni di novembre negli Stati Uniti; tutto questo ha spinto i ricercatori a studiare in modo sistematico i modi in cui l'informazione era stata usata come arma.

Negli ultimi tre anni la discussione sulle cause dell'inquinamento del nostro ecosistema dell'informazione si è concentrata quasi interamente su quello che hanno fatto (o non fatto) le società tecnologiche. Ma è un'ossessione semplicistica. C'è una rete complessa di mutamenti sociali che rende le persone più suscettibili a cattiva informazione e complotti. La fiducia nelle istituzioni diminuisce per sconvolgimenti politici ed economici, tra cui spiccano le disuguaglianze di reddito, che aumentano costantemente. Gli

Illustrazione di Wesley Allsbrook

effetti del cambiamento climatico sono sempre più pronunciati. Le tendenze migratorie globali fanno temere mutamenti irreversibili delle comunità. La crescita dell'automazione suscita la paura di perdere il lavoro e la privacy.

Gli attori malintenzionati che vogliono accentuare le tensioni capiscono queste tendenze della società, e progettano contenuti con cui sperano di suscitare l'ira o l'entusiasmo degli utenti presi di mira in modo che il pubblico diventi il messaggero. L'obiettivo è indurre gli utenti a usare il proprio capitale sociale per rinforzare e dare credibilità il messaggio iniziale.

La maggior parte di questi contenuti non è fatta per indirizzare le persone in una particolare direzione, ma per creare confusione, per sovrastare e minare alle fondamenta le istituzioni della democrazia, dal sistema elettorale al giornalismo. E sebbene si stia facendo molto per preparare l'elettorato degli Stati Uniti alle elezioni del 2020, i contenuti fuorvianti e complottisti non sono nati con la campagna presidenziale del 2016 e non finiranno con la prossima. Gli strumenti per manipolare e amplificare i contenuti diventano sempre più economici e accessibili, e di pari passo diventerà sempre più facile trasformare in un'arma gli utenti stessi, facendone inconsapevoli agenti della disinformazione.

### L'arma del contesto

In generale, il linguaggio usato per discutere della cattiva informazione è troppo semplicistico. Ricerca e interventi efficaci richiedono definizioni chiare, eppure molti usano un'espressione problematica come *fake news*. Usato da politici in tutto il mondo per attaccare la libera stampa, fake news è un termine pericoloso. Ricerche recenti mostrano che il pubblico lo collega sempre di più con i mezzi di comunicazione dominanti. Spesso diventa un termine per descrivere cose che sono diverse tra loro, tra cui menzogne, voci non confermate, burle, cattiva informazione, complotti e propaganda, ma spesso nasconde le sfumature e la complessità. Molti di questi contenuti non fingono neppure di essere notizie, ma compaiono sotto forma di «memi», in video e *post* su social media come Facebook e Instagram.

**Un gruppo di persone coinvolte in campagne sui social media a sostegno di Donald Trump ha sottolineato l'importanza dei memi per il successo elettorale dell'attuale presidente degli Stati Uniti**

Nel febbraio 2017 ho definito sette tipi di «disturbi informativi» nel tentativo di evidenziare lo spettro di contenuti usato per inquinare l'ecosistema dell'informazione. Comprendono, tra l'altro, la satira, che non mira a causare un danno ma che potenzialmente può ingannare; i contenuti inventati, che sono falsi al 100 per cento e sono progettati per ingannare e provocare un danno; la falsificazione del contesto, in cui si condividono contenuti autentici corredandoli di informazioni contestuali false. Sempre nello stesso anno, qualche mese dopo, insieme a Hossein Derakhshan, un giornalista che si occupa di tecnologia, abbiamo pubblicato un rapporto in cui abbiamo descritto le differenze tra disinformazione (*disinformation*), cattiva informazione (*misinformation*) e mala-informazione (*malinformation*).

**Claire Wardle** è la direttrice per gli Stati Uniti dell'organizzazione no profit First Draft, dove fa ricerca, dirige progetti e cura iniziative di formazione su come riconoscere e affrontare la cattiva informazione. È stata *research fellow* dello Shorenstein Center on Media, Politics and Public Policy della Harvard University.

Le persone che diffondono disinformazione – contenuto intenzionalmente falso e pensato per procurare un danno – sono spinte da tre motivazioni: fare soldi, avere un'influenza politica, interna o estera; causare problemi per il piacere di farlo.

Le persone che diffondono cattiva informazione (misinformation) – contenuti falsi o fuorvianti, ma senza che chi li condivide se ne renda conto – sono mosse da fattori socio-psicologici. Gli utenti «mettono in scena» la propria identità sulle piattaforme social per sentirsi connessi «agli altri»: che siano partiti politici, genitori no-vax, attivisti impegnati sul cambiamento climatico, o esponenti di una data religione o gruppo etnico. Cruciale è il fatto che la disinformazione diventa cattiva informazione quando le persone la condividono senza rendersi conto della sua falsità.

Abbiamo poi coniato un nuovo termine, malinformation, o mala-informazione, per indicare le informazioni autentiche ma condivise con l'obiettivo di procurare un danno. Un esempio si è avuto quando agenti russi si sono introdotti abusivamente nella posta elettronica del Comitato nazionale del Partito democratico degli Stati Uniti (o Democratic National Committee) e della campagna di Hillary Clinton e hanno fatto trapelare al pubblico dettagli dei messaggi per danneggiare la reputazione di entrambi.

Seguendo la cattiva informazione in otto elezioni in varie parti del mondo dal 2016 a oggi, ho osservato un cambiamento nelle tattiche e nelle tecniche. La disinformazione più efficace è sempre stata quella che contiene un nucleo di verità, e in effetti la maggior parte del contenuto oggi disseminato non è falso ma fuorviante. Invece di inventare storie di sana pianta, chi opera per influenzare le persone ricontestualizza informazioni autentiche e usa titoli iperbolici. In questa strategia contenuti autentici sono collegati a temi o persone polarizzanti. Dato che i malintenzionati sono sempre un passo (o svariati passi) più avanti rispetto agli strumenti di moderazione delle piattaforme, adesso stanno facendo passare la disinformazione emotiva per satira, in modo che non venga sottoposta ai processi di verifica dei fatti. Qui è il contesto, più che il

IN BREVE

**Su Internet ci sono disturbi** dei contenuti informativi di molti tipi, dai video inventati o modificati agli account falsificati, fino ai memi che mirano a manipolare contenuti autentici.

**Automazione e tattiche di profilazione elevata** hanno reso più facile per gli agenti della disinformazione trasformare gli utenti dei social media in armi di diffusione di messaggi dannosi.

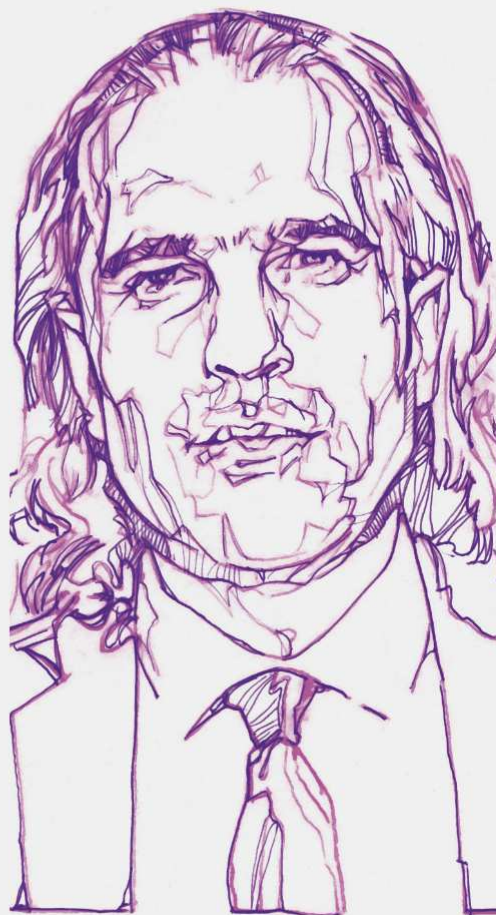
**Per capire più a fondo** gli effetti della disinformazione e per mettere in atto opportune difese è necessaria ancora più ricerca.

UN FISICO TEORICO
IN CERCA DI RISPOSTE

## La fisica è la più matura delle scienze, e per i fisici la verità è un'ossessione.

C'è un universo reale là fuori. Il miracolo centrale è che ci sono leggi semplici, espresse nel preciso linguaggio della matematica, che possono descriverlo. Detto questo, i fisici non trafficano in certezze, ma in gradi di confidenza. Abbiamo imparato la lezione; più volte, nella storia, abbiamo trovato che un principio che pensavamo centrale per la descrizione ultima della realtà non andava affatto bene. Per capire come funziona il mondo, abbiamo teorie e facciamo esperimenti per metterle alla prova. Storicamente, il metodo funziona. I fisici, per esempio, hanno previsto l'esistenza della particella chiamata bosone di Higgs nel 1964, costruito il Large Hadron Collider (LHC) al CERN tra la fine degli anni novanta e i primi anni duemila e trovato la prova fisica dell'esistenza dell'Higgs nel 2012. Altre volte non possiamo costruire un esperimento: è troppo grande o costoso, o sarebbe impossibile con le tecnologie attuali. Così escogitiamo esperimenti mentali che ci allontanino dell'infrastruttura delle leggi matematiche e dei dati sperimentali esistenti.
Eccone uno: il concetto di spazio-tempo è accettato fin dai primi del Novecento. Ma più è piccolo lo spazio che si vuole osservare, più potente deve essere la risoluzione. È per questo che LHC ha una circonferenza di 27 chilometri: per produrre le enormi energie necessarie per sondare le minuscole distanze tra le particelle. Ma a un certo punto succede qualcosa di brutto. Mettiamo una quantità di energia così grande per osservare un frammento così piccolo di spazio che in realtà creiamo un buco nero. Il tentativo stesso di vedere che cosa c'è all'interno rende impossibile farlo, e la nozione di spazio-tempo va in mille pezzi.
In ciascun momento della storia possiamo capire alcuni aspetti del mondo ma non possiamo capire tutto. Quando un cambiamento rivoluzionario porta qualche elemento in più nel quadro generale, dobbiamo riconfigurare quello che sapevamo. Il vecchio fa ancora parte della verità, ma deve essere ripreso e reinserito nel quadro generale in un modo nuovo.

*Nima Arkani-Hamed è professore della School of Natural Sciences dell'Institute for Advanced Studies di Princeton, in New Jersey; testo raccolto da Brooke Borel*

Illustrazione di Bud Cook

contenuto, a diventare un'arma. Il risultato è generare caos in modo intenzionale.

Prendiamo come esempio un video manipolato di Nancy Pelosi, la presidente della Camera dei Rappresentanti degli Stati Uniti, che è circolato lo scorso maggio. Era una ripresa autentica, ma un agente della disinformazione l'ha rallentata e poi ha postato il risultato, in cui sembrava che Pelosi biascicasse le parole. Come era nelle intenzioni, qualcuno ha subito ipotizzato che la presidente fosse ubriaca, e il video si è diffuso sui social media. Poi è stato ripreso dai media tradizionali, e così sarà senz'altro arrivato anche a persone che altrimenti non lo avrebbe mai visto.

Alcune ricerche hanno trovato che le tradizionali segnalazioni giornalistiche dei contenuti fuorvianti possono potenzialmente fare danni ulteriori. Il nostro cervello è fatto in modo da ricorrere a euristiche (o scorciatoie mentali) quando deve dare giudizi di credibilità. Come risultato, ripetizione e familiarità sono due dei meccanismi più efficaci per inculcare narrazioni fuorvianti, anche quando le persone hanno ricevuto informazioni contestuali che spiegano perché dovrebbero sapere che una narrativa non è vera.

I malintenzionati lo sanno bene: nel 2018 Whitney Phillips, una studiosa dei mezzi di comunicazione, ha pubblicato un rapporto per il Data & Society Research Institute che esplora le tecniche usate da chi cerca di spingere narrazioni false e fuorvianti per incoraggiare i giornalisti a occuparsi proprio di quelle narrative. Eppure, secondo un altro rapporto dell'Institute for the Future solo il 15 per cento dei giornalisti degli Stati Uniti ha seguito corsi di formazione su come trattare responsabilmente la cattiva informazione. Oggi una sfida centrale per i giornalisti e per chi è incaricato di verificare i fatti (*fact checker*) – e per chiunque abbia un ampio seguito, come politici e *influencer* – è capire come sbrogliare e sfatare falsificazioni come il video della Pelosi senza dare ancora più ossigeno al contenuto iniziale.

### I memi: un potente strumento di cattiva informazione

Nel gennaio 2017 il programma radiofonico della statunitense NPR *This American Life* ha intervistato un gruppo di sostenitori di Donald Trump in uno dei suoi eventi inaugurali, chiamato DeploraBall. Quelle persone erano state coinvolte pesantemente nell'uso dei social media per sostenere Trump. Parlando della sua sorprendente ascesa, uno degli intervistati ha spiegato: «Lo abbiamo portato al potere a forza di memi... Abbiamo diretto la cultura».

La parola «meme» è stata coniata nel 1976 dal biologo Richard Dawkins nel libro *The Selfish Gene* [la prima edizione italiana, titolo *Il gene egoista*, è del 1979, N.d.r.] per descrivere «un'unità di trasmissione culturale o un'unità di imitazione»: un'idea, un comportamento o uno stile che si diffonde rapidamente attraverso una

cultura. Da qualche decennio, però, la parola è usata per descrivere un tipo di contenuti on line, in genere audiovisivi e costruiti secondo uno specifico modello estetico combinando immagini colorate e sorprendenti con blocchi di testo. Spesso un meme fa riferimento ad altri elementi culturali o mediatici, talvolta in modo esplicito, ma di solito implicitamente.

Questa caratteristica di logica implicita – un cenno e un ammiccamento a una conoscenza condivisa su una persona o un evento – è quello che rende il meme impattante. L'entimema è un tecnica retorica in cui l'argomentazione è fatta in assenza di premesse certe o di conclusioni. Spesso non sono esplicitati riferimenti chiave (a notizie recenti, dichiarazioni di politici, campagne pubblicitarie o tendenze culturali più ampie), forzando chi guarda ad arrivare al punto per conto suo. Il lavoro in più richiesto a chi guarda è una tecnica persuasiva perché spinge una persona a sentirsi in sintonia con gli altri. Se poi un meme prende in giro o invoca sdegno a spese di un altro gruppo, le associazioni diventano ancora più forti.

La natura apparentemente giocosa di questi formati visivi significa che i memi non sono stati riconosciuti da gran parte della ricerca e della politica come efficaci veicoli di disinformazione, complotto od odio. Eppure la cattiva informazione è tanto più efficace quanto più viene condivisa, e i memi tendono a essere assai più condivisibili dei testi. L'intera narrativa è visibile nel vostro flusso di informazioni, non serve fare clic su un link. Un libro del 2019 di An Xiao Mina, *Memes to Movements*, delinea come i memi stanno cambiando proteste sociali e dinamiche di potere, ma questo atteggiamento di seria considerazione è relativamente raro.

In effetti, molti post e annunci su Facebook collegati alle elezioni dei 2016 e generati dai russi erano memi. Ed erano centrati su candidati polarizzanti, come Bernie Sanders, Hillary Clinton e Donald Trump, e politiche polarizzanti, come il diritto alle armi e l'immigrazione. Gli sforzi dei russi hanno spesso mirato a gruppi specifici per etnia o religione, come il movimento Black Lives Matter o i Cristiani evangelici. Quando è stato pubblicato l'archivio dei memi su Facebook generati da russi, alcuni commenti si sono concentrati sulla mancanza di raffinatezza dei memi stessi e sul loro impatto. Ma le ricerche hanno mostrato che quando le persone hanno paura le narrazioni ultrasemplificate, le spiegazioni complottiste e i messaggi che demonizzano altri diventano assai più efficaci. Quei memi hanno fatto quanto bastava per spingere le persone a cliccare sul pulsante «condividi».

Piattaforme tecnologiche come Facebook, Instagram, Twitter e Pinterest hanno un ruolo significativo nell'incoraggiare questi comportamenti umani perché sono progettate per sollecitare prestazioni. Rallentare per verificare se un certo contenuto è vero prima di condividerlo è assai meno persuasivo rispetto al ribadire alla propria «audience» su queste piattaforme che si ama o si odia una certa politica. Il modello di business di tante di queste piattaforme è legato a una prestazione identitaria del genere perché spinge a trascorrere più tempo sui loro siti.

Oggi i ricercatori costruiscono tecnologie per tracciare i memi anche quando passano da una piattaforma social all'altra. Ma si può studiare solo quello che è accessibile, e i dati dei post visivi di numerose piattaforme non sono messi a disposizione dei ricercatori. In più le tecniche per studiare i testi, come quelle per il trattamento del linguaggio naturale, sono assai più avanzate di quelle per le immagini o i video. Questo vuol dire che la ricerca dietro le soluzioni che si stanno preparando è sproporzionatamente rivolta verso *tweet* a base testuale, siti web o articoli pubblicati via URL e la verifica delle affermazioni dei politici.

## Tre disturbi dell'informazione

Per capire e studiare l'ecosistema delle informazioni nella sua complessità, c'è bisogno di un linguaggio comune. L'uso diffuso di termini semplicistici come fake news cela distinzioni importanti e denigra il giornalismo. E dà troppa importanza alla distinzione tra «vero» e «falso», mentre l'informazione di disturbo è in genere, in varia misura, «fuorviante».

FALSITÀ

INTENZIONE DI NUOCERE

**Cattiva informazione**
Errori involontari come imprecisioni in titoli, date, statistiche e traduzioni, o satira presa per verità.

**Disinformazione**
Contenuto costruito ad arte o deliberatamente manipolato. Invenzione deliberata di voci o complotti.

**Mala-informazione**
Deliberata divulgazione di informazioni private non nel pubblico interesse ma per interessi personali o di aziende (per esempio, il «revenge porn»). Modifica deliberata di contesto, data o periodo di contenuti autentici.

Grafica di Jen Christiansen. Fonte: *Information Disorder: Toward An Interdisciplinary Framework For Research And Policymaking*, di C. Wardle e H. Derakhshan, Consiglio d'Europa, ottobre 2017 (*illustrazione in questa pagina e quella nella pagina a fronte*)

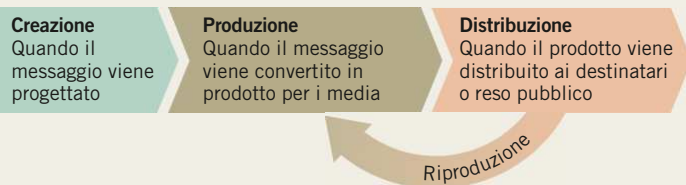
Anche se alle aziende tecnologiche sono attribuite molte colpe, e per buone ragioni, esse sono anche il prodotto dell'ambiente commerciale in cui operano. Non saranno gli aggiustamenti degli algoritmi, gli aggiornamenti delle linee guida per la moderazione dei contenuti o le multe degli enti regolatori, da soli, a migliorare il nostro ecosistema delle informazioni al livello richiesto.

### Partecipare alla soluzione

In un sano ambiente informativo concepito come bene comune le persone sarebbero comunque libere di esprimere quello che vogliono; ma l'informazione pensata per fuorviare, incitare odio, rinforzare tribalismi o provocare danni concreti non verrebbe amplificata dagli algoritmi. Questo significa che non le sarebbe permesso di finire tra i trend di Twitter o YouTube. Né sarebbe scelta per apparire tra i *feed* di Facebook, le ricerche su Reddit o i primi risultati di Google.

Fino a quando non sarà risolto il problema dell'amplificazione, gli agenti della disinformazione useranno come arma proprio la nostra disponibilità a condividere senza pensare. Di conseguenza, un ambiente informativo così pieno di disturbi richiede che ognuno di noi riconosca di poter diventare un vettore nella guerra dell'informazione, e sviluppi un insieme di capacità e abilità con cui muoversi nella comunicazione on line e in quella off line.

Attualmente le conversazioni sulla consapevolezza del pubblico sono spesso centrate sull'educazione ai mezzi di comunicazione, spesso in una cornice paternalistica per cui il pubblico avrebbe solo bisogno che gli si insegni a consumare l'informazione con

## Dalla disinformazione alla cattiva informazione



La diffusione di informazioni false o fuorvianti è spesso un processo dinamico. Inizia quando un agente di disinformazione confeziona un messaggio che provochi più danni possibile, per esempio organizzando proteste nel mondo reale che mettono pubblicamente in conflitto gruppi opposti. Nella fase successiva, l'agente produce pagine dedicate all'«evento» su Facebook. I link sono proposti alle comunità che potrebbero esserne incuriosite. Chi vede l'evento ignora la falsità delle sue premesse e lo condivide con la sua comunità, usando il proprio quadro di riferimento. Poi questa forma di riproduzione continua.

intelligenza. Sarebbe meglio invece spingere gli utenti a sviluppare «muscoli» cognitivi nello scetticismo emotivo e ad addestrarsi a resistere all'assalto dei contenuti pensati espressamente per scatenare le paure e i pregiudizi più bassi.

Chiunque usi i siti web che facilitano le interazioni sociali farebbe bene a imparare come funzionano, e in particolare come gli algoritmi determinano quello che vedono gli utenti, dando «priorità ai post che innescano conversazioni e interazioni significative tra gli utenti», per citare un aggiornamento di Facebook del gennaio 2018 su come funzionano le sue classifiche. Raccomanderei anche che si provasse, almeno una volta, a pubblicare un annuncio a pagamento su Facebook. Il processo con cui si organizza una campagna pubblicitaria può aiutare a capire quanto siano dettagliate le informazioni disponibili. È possibile mirare a categorie assai specifiche, per esempio le donne tra i 32 e i 42 anni di età, che abitano nella zona di Raleigh-Durham in North Carolina, hanno bambini in età prescolare, hanno una laurea, sono ebree e apprezzano la senatrice Kamala Harris. Il network vi permette addirittura di testare queste pubblicità in ambienti che consentono di fallire privatamente. Con questo tipo di «pubblicità nascosta», un'organizzazione può indirizzare post solo a determinate persone, senza pubblicarli sulla propria pagina. Questo rende difficile per ricercatori e giornalisti tracciare quali messaggi mirati siano inviati a quali gruppi, il che è assai preoccupante nei periodi elettorali.

Gli eventi di Facebook offrono un altro canale di manipolazione. Uno dei casi più allarmanti di interferenza straniera in un'elezione negli Stati Uniti è una manifestazione avvenuta a Houston, in Texas, ma orchestrata da *troll* (agenti provocatori) con base in Russia. Avevano aperto due pagine Facebook che sembravano autenticamente statunitensi. Una, «Heart of Texas», che si diceva filo-secessionista, ha lanciato un «evento» da tenersi il 21 maggio 2016, con lo slogan «Fermiamo l'islamizzazione del Texas». L'altra pagina, «United Muslims of America», ha convocato una propria iniziativa di protesta, con lo slogan «Salviamo il sapere islamico» nello stesso posto e alla stessa ora. Il risultato è che due gruppi di persone sono scesi in strada a protestare l'uno contro l'altro, mentre i veri organizzatori si congratulavano fra loro per essere riusciti ad amplificare le tensioni esistenti a Houston.

Un'altra popolare tattica di disinformazione è chiamata «astroturfing». Inizialmente il termine era legato a persone che scrivevano false recensioni di prodotti on line o provavano a far sembrare una comunità più numerosa di quanto fosse in realtà. Oggi campagne automatizzate usano programmi o un sofisticato coordinamento di appassionati sostenitori e troll pagati, o entrambi i mezzi, per dare la sensazione che una persona o una politica goda di un forte sostegno dal basso. Facendo in modo che alcuni *hashtag* siano tra i trend di Twitter, sperano che messaggi particolari siano raccolti dai mezzi di comunicazione professionali e indirizzano l'amplificazione per attaccare e ridurre al silenzio specifiche persone od organizzazioni.

Capire che ognuno di noi è soggetto a queste campagne – e potrebbe parteciparvi inconsapevolmente– è un primo passo cruciale per contrastare chi cerca di capovolgere un senso di realtà condivisa. Ma la cosa più importante, forse, è che l'accettazione della vulnerabilità della nostra società a un'amplificazione fabbricata appositamente deve avvenire con calma e buon senso. Diffondere paure serve solo ad alimentare nuovi complotti e a far diminuire ancora di più la fiducia nelle fonti di informazione di qualità e nelle istituzioni della democrazia.

Non ci sono soluzioni definitive per impedire che le narrazioni diventino armi; dobbiamo invece adattarci a questa nuova normalità. Proteggersi dal Sole è un'abitudine che la società ha sviluppato nel tempo e ha adeguato con la disponibilità di nuova conoscenza scientifica; per costruire la giusta resilienza a un ambiente informativo pieno di disturbi bisogna pensare nello stesso modo. ■

### PER APPROFONDIRE


**Information Disorder: Toward an Interdisciplinary Framework for Research and Policy Making.** Wardle C. e Derakhshan H., Consiglio d'Europa, ottobre 2017.

**Network Propaganda: Manipulation, Disinformation, and Radicalization in American Politics.** Benkler Y., Faris R. e Roberts H., Oxford University Press, 2018.

**Memes to Movements: How the World's Most Viral Media Is Changing Social Protest and Power.** Mina A.X., Beacon Press, 2019.

**Priming and Fake News: The Effects of Elite Discourse on Evaluations of News Media.** Van Duyn E. e Collier J., in «Mass Communication and Society», Vol. 22, n. 1, pp. 29-48, 2019.

**Click, bugie e videotape.** Borel B., in «Le Scienze» n. 604, dicembre 2018.

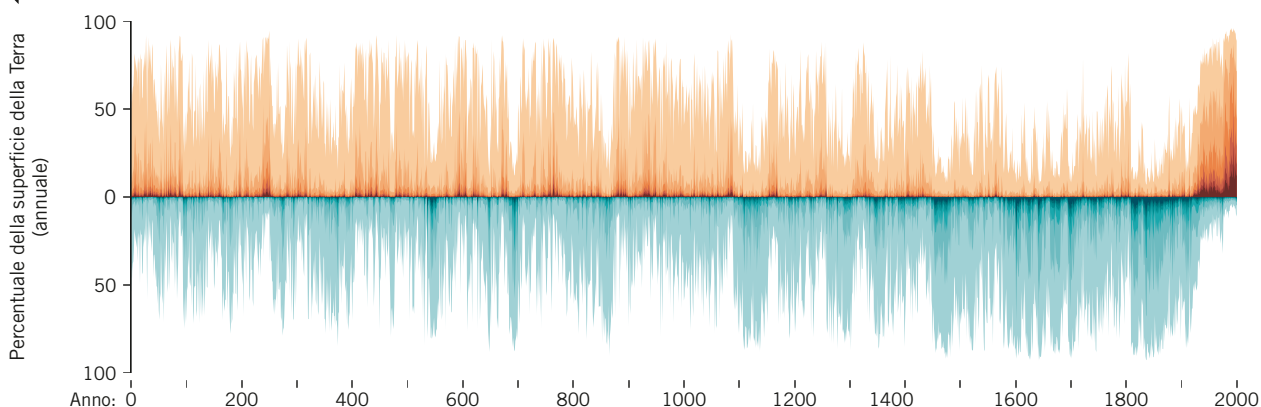
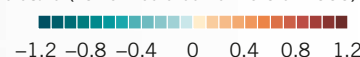
La tesi che il riscaldamento globale attuale è parte della naturale variabilità climatica non ha alcun fondamento scientifico

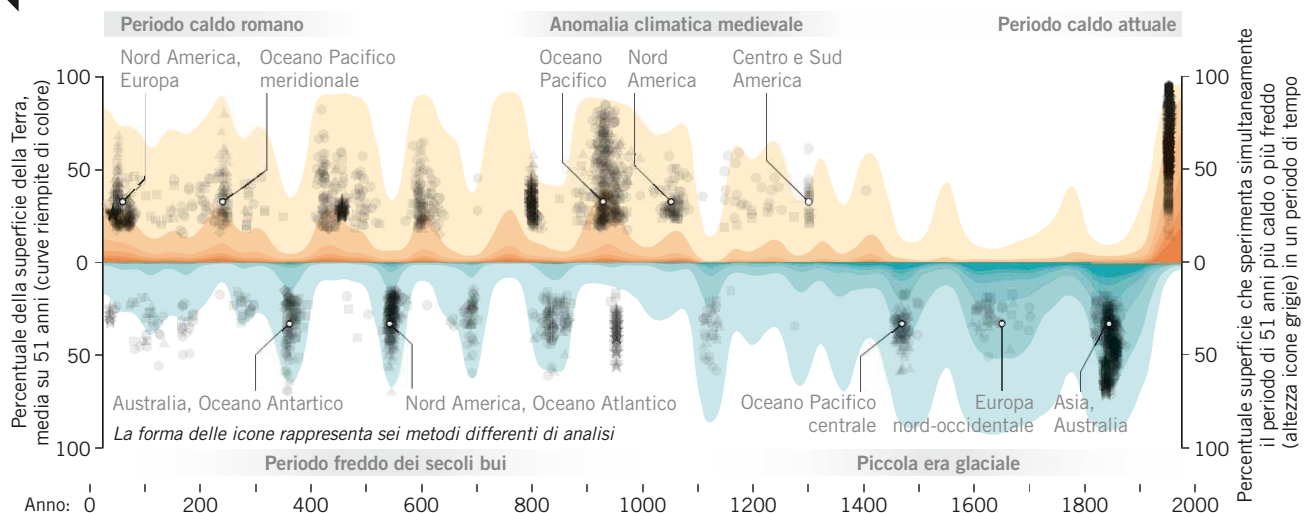
# Un punto decisivo sul clima

**Le persone che liquidano con sufficienza** il cambiamento climatico spesso affermano che il riscaldamento della Terra è solo parte di una «variabilità naturale del clima». Ma uno studio pubblicato a luglio su «Nature» ha messo a tacere questa argomentazione. Gli autori hanno mostrato che nei 2000 anni passati gli anni caldi e quelli freddi si sono intervallati regolarmente **A** e che addirittura i periodi più caldi e più freddi sono avvenuti solo in aree circoscritte e in un momento specifico, mai in tutto il globo simultaneamente **B**. Il riscaldamento attuale, al contrario, sta avvenendo nel 98 per cento del pianeta contemporaneamente, dal 1900 circa fino a oggi. «È del tutto differente», afferma Raphael Neukom dell'Università di Berna, in Svizzera, che ha diretto la ricerca. Tutte le regioni si stanno riscaldando senza sosta all'unisono.

*Mark Fischetti*

**A** Dall'anno zero al 1950, quasi ogni anno, alcune aree della Terra sono state più calde o più fredde rispetto alla media. Ma dal 1950 circa, quasi tutti gli anni sono stati nettamente più caldi, e la crescita della temperatura (*rosso*) è stata ben più grande.

Anomalia temperatura (°C vs media dall'anno 0 al 2000)

**B** Seicento analisi differenti di 210 insiemi di dati ottenuti da coralli, ghiacciai, sedimenti di laghi e altri marcatori della temperatura nel mondo sono mostrate da icone. Solo alcune si raggruppano insieme in un qualsiasi periodo di tempo dall'anno zero al 1950: al massimo, si è riscaldato o raffreddato il 70 per cento della Terra. Dal 1950, però, tutte le 600 ricostruzioni si sono allineate; il 98 per cento del pianeta si è riscaldato contemporaneamente, una variazione non naturale.

*La forma delle icone rappresenta sei metodi differenti di analisi*

Fonte: *No evidence for globally coherent warm and cold periods over the preindustrial Common Era*, di Raphael Neukom e altri, in «Nature», Vol. 571, 25 luglio 2019

di Paolo Attivissimo

giornalista informatico e studioso
della disinformazione nei media

# Dieta all'ultimo respiro

Che cosa succede al grasso del corpo perdendo peso e perché i cambiamenti climatici non c'entrano niente

Dove va il grasso corporeo quando si dimagrisce? Se avete risposto che diventa energia, avete sbagliato, ma consolatevi: siete in buona compagnia. Secondo un'indagine pubblicata sul «British Medical Journal» a dicembre 2014, oltre metà di un campione di 150 professionisti di dietologia, medici di base e *personal trainer* ha risposto a questa domanda parlando di trasformazione in energia o calore.

Eppure dovrebbe essere piuttosto evidente che se la massa di grasso venisse interamente o parzialmente convertita in energia, ci troveremmo di fronte a una trasformazione nucleare disastrosa. La conversione in energia di un solo grammo di materia equivale grosso modo a una bomba atomica in grado di distruggere una città, come quelle usate nella seconda guerra mondiale su Hiroshima e Nagasaki: perdere un chilogrammo di grasso sarebbe l'equivalente di una guerra atomica. Però si parla comunemente di «bruciare grassi».

Le altre risposte più frequenti sono che il grasso viene eliminato nelle feci, nel sudore o nell'urina, oppure si trasforma in massa muscolare. Sono già più sensate, visto che perlomeno rispettano la legge di conservazione della massa, ma sono comunque errate, perché in realtà il grasso se ne va principalmente sotto forma di anidride carbonica, attraverso la respirazione. Più specificamente, grazie alla complessa biochimica del corpo umano, in condizioni normali un chilogrammo di grasso che viene perso se ne va sotto forma di 840 grammi di $CO_2$ e 160 grammi d'acqua. L'acqua è eliminata tramite feci, urina, sudore, saliva e altri fluidi corporei, ma il grosso del lavoro spetta alla respirazione.

### Mezzo chilogrammo d'aria

Il fatto che si smaltisca il grasso soprattutto attraverso i polmoni è una rivelazione sconcertante per molte persone, compresi parecchi addetti ai lavori, probabilmente perché diete e indicazioni sugli alimenti si basano sulle chilocalorie o sui chilojoule, quindi ragionano in termini di energia, e perché il nostro respiro, essendo invisibile, ci sembra immateriale e privo di massa. In realtà ogni respiro ci alleggerisce mediamente di 33 milligrammi di $CO_2$. Alla cadenza normale di 12 respiri al minuto, in un giorno esaliamo circa mezzo chilogrammo di massa di cui non ci accorgiamo.

### Anidride recente

Purtroppo non basta respirare più velocemente per smaltire più grasso. Se si respira più di quanto necessario per l'attività fisica svolta, si va in iperventilazione. Non si scappa: bisogna, in sintesi, mangiare meno e muoversi di più, e il corpo è molto efficiente nell'estrarre dagli alimenti l'energia chimica che contengono. Gli autori dell'indagine sottolineano che un singolo muffin da 100 grammi rappresenta circa un quinto del fabbisogno energetico complessivo quotidiano di una persona media, per cui basta questa trasgressione minima per vanificare un'ora di ginnastica.

In questi tempi di preoccupazione diffusa per l'aumento vertiginoso dell'anidride carbonica in atmosfera, scoprire che il grasso corporeo si elimina soprattutto come $CO_2$ può far venire il dubbio che dimagrire contribuisca ai cambiamenti climatici. Ma non possiamo usare questa giustificazione per svicolare dalla dieta: questi cambiamenti sono innescati dal rilascio dell'anidride carbonica antica, intrappolata negli organismi fossili diventati idrocarburi, che si aggiunge a quella attuale. L'anidride carbonica che viene esalata dalla respirazione è invece recente, perché proviene da alimenti (piante o animali) che l'hanno estratta dall'atmosfera pochi mesi o anni prima e quindi viene semplicemente restituita all'ambiente.

Come capita spesso, insomma, nella scienza conta non solo saper trovare le risposte, ma anche saper fare le domande giuste.

di Beatrice Mautino

biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti *Il trucco c'è e si vede* (Chiarelettere, 2018)

# Si fa presto a dire naturale

Il settore dei cosmetici «ecobio» è in forte crescita ma è un universo ancora variegato e confuso

Chi frequenta il mondo dei cosmetici lo sente nominare in continuazione. Stiamo parlando di quello che è chiamato «ecobio», un settore in continua crescita, ma per il quale non esiste una definizione condivisa fra produttori e consumatori. Per tastare il polso della situazione, ho fatto un sondaggio fra i miei lettori chiedendo agli utilizzatori di cosmetici ecobio di dirmi quale fosse, per loro, il significato della parola. Ho ricevuto poco meno di 5000 risposte in 24 ore e, senza pretese statistiche o velleità sociologiche, ho provato ad analizzarle.

## Prima la salute

Il primo dato che è emerso è una divisione abbastanza netta fra chi attribuisce all'ecobio caratteristiche «eco», quindi legate all'impatto ambientale e chi lo fa invece per la propria salute. Per i due terzi delle persone un cosmetico ecobio è un cosmetico «che rispetta l'ambiente ed è pensato come *eco-friendly*» e per qualcuno l'ecobio è addirittura «una scelta sociale e politica». Il restante terzo compra prodotti ecobio perché pensa che siano più sicuri e salutari.

Per verificare quanto le proporzioni di questi due blocchi fossero consistenti, ho chiesto alle stesse persone se nello scegliere un cosmetico si affidassero di più alle certificazioni (che in genere puntano sull'aspetto ambientale) o agli ingredienti (che in genere sono analizzati per questioni di salute) e la situazione si è ribaltata: il 72 per cento ha dichiarato di basarsi sugli ingredienti, mentre solo il 28 per cento ha detto di scegliere prodotti certificati. Quindi, probabilmente, nel mio campione, la percentuale di chi compra ecobio per l'ambiente è sovrastimata, mentre quelli che lo fanno per motivi di salute sono di più di quelli che lo esplicitano.

Scorporando i due blocchi troviamo sottogruppi interessanti. C'è chi definisce ecobio come «100 per cento naturale», chi invece lo identifica con la biodegradabilità di ingredienti e prodotti.

Nel blocco di chi compra ecobio per motivi di salute, l'elemento più eclatante è la frequenza di parole che si rifanno al mondo del «senza». Ecobio è «senza nichel», «senza test su animali», senza la triade di «petrolati, parabeni e siliconi», «senza composti chimici» o, più in generale, «schifezze».

## Nuove linee guida

Peccato che il termine «ecobio» formalmente non esista. I cosmetici che afferiscono a questo universo sono più variegati che mai e ci ritroviamo con decine di enti privati che competono per conquistare il mercato proponendo ognuno un disciplinare diverso, ognuno con le proprie liste di ingredienti ammessi e proibiti e con percentuali minime differenti di ingredienti di origine naturale o da agricoltura biologica.

Cercare di fare un confronto fra i vari disciplinari è un'impresa titanica. Ci si perde nei numeri e nelle definizioni e sembra che gli enti facciano a gara a chi è il più puro.

Un tentativo di ordine è stato fatto proprio nei mesi scorsi dalla ISO, l'ente indipendente affiliato all'Organizzazione mondiale del commercio che ha il compito di stilare norme internazionali. Dopo dieci anni di lavoro ha emesso la ISO 16128, una linea guida che permette di misurare la «naturalità» e la «biologicità» di un prodotto usando un metodo e calcoli comuni a tutti con un approccio radicalmente differente da quello delle certificazioni classiche. Per la ISO 16128, infatti, non ci sono ingredienti proibiti, né si fa distinzione in base al processo produttivo, entrambe caratteristiche che hanno fatto infuriare gli enti certificatori.

È ancora presto per dire se questo sistema prenderà piede, ma di sicuro sta dando una bella scossa all'universo ecobio e obbligherà le aziende a fare i conti. Letteralmente.

di Dario Bressanini

chimico, divulgatore, gastronomo. Autore di *Contro natura* (Rizzoli, 2015), *La Scienza della Carne* (Gribaudo, 2016)

# L'acidità del pomodoro

## Oltre che per il sapore, il livello di acidità è importante anche per una corretta conservazione delle salse

In Italia in molte regioni c'è ancora la tradizione di preparare la salsa di pomodoro per imbottigliarla a partire da pomodori acquistati appositamente, oppure coltivati nell'orto. È spesso un rito che dura un'intera giornata, con enormi pentoloni di pomodori messi a cuocere, e che coinvolge grandi e piccini. Se devo essere sincero – senza nessuna pretesa di generalità e solo basandomi sulle innumerevoli salse casalinghe che ho assaggiato da fonti diverse – per il mio gusto il sapore non è quasi mai superiore a una salsa di pomodoro preparata al momento con un buon pomodoro pelato in lattina.

### Un equilibrio difficile

Il sapore del pomodoro è dato da una combinazione di zuccheri e acidi. Gli zuccheri principali sono il glucosio e il fruttosio, mentre il saccarosio è presente solo in tracce. Un buon pomodoro deve contenere un'alta quantità di zuccheri, che vanno controbilanciati però da un'altrettanta elevata quantità di acidi, soprattutto acido citrico, in modo da far risaltare il sapore. Il pH di un pomodoro di solito si aggira tra 3,9 e 4,6. Se tagliate un pomodoro lungo l'equatore potete osservare due o più cavità, chiamate loculi, contenenti una sostanza gelatinosa, e i semi. Quel gel, che alcuni gettano via, ha la più alta concentrazione di acidi del pomodoro ed è quindi un errore eliminarlo. Anche la vitamina C, che è un acido, è in gran parte concentrata in questa zona.

È difficile a livello casalingo avere il giusto equilibrio di dolcezza e di acidità, combinate con un sapore di pomodoro intenso perché della varietà giusta e raccolto all'apice della maturazione. Troppo spesso ho assaggiato conserve di pomodoro troppo dolci, oppure senza la brillantezza dovuta all'acidità. Oppure troppo aspre o magari troppo annacquate. E con me non funziona neppure l'effetto nostalgia, che spesso mi fa piacere cibi solo perché mi ricordano l'infanzia: né mia mamma né mia nonna hanno mai preparato la conserva di pomodoro.

I pomodori conferiti all'industria per la trasformazione, da inscatolare come pelati per esempio, sono sottoposti ad analisi chimiche per determinare il contenuto di zuccheri e di acidi. I pelati sono pomodori di tipo lungo privati della buccia – da cui il nome – e devono essere ottenuti da un frutto fresco, sano, maturo e privo di macchie necrotiche nella polpa. Va da sé, quindi, che solo i pomodori migliori possono essere inscatolati come pelati con una eventuale aggiunta di succo di pomodoro, sale, e magari qualche foglia di basilico.

L'acidità del pomodoro oltre che per il sapore è importante anche per una corretta conservazione del prodotto (il pH deve essere inferiore a 4,3) e quindi se necessario si aggiunge alla lattina un correttore di acidità, di solito acido citrico.

### In caso di acidità eccessiva

Se volete continuare la vostra tradizione e vi trovate tra le mani pomodori troppo acidi avete due opzioni: la prima è molto tradizionale e sfrutta la capacità del sapore dolce di mascherare il sapore aspro. In varie ricette tradizionali della salsa si consiglia di aggiungere zucchero. Non dovrebbe essere necessario se i pomodori fossero sufficientemente zuccherini, ma voi non siete un'industria e non potete effettuare analisi chimiche preventive.

La seconda opzione è neutralizzare chimicamente una parte degli acidi presenti, e l'ingrediente più semplice è il bicarbonato di sodio. Aggiunto alla salsa vedrete sviluppare della schiuma: è anidride carbonica che si forma quando il bicarbonato reagisce con un acido. Se volete tentare questa strada fate delle prove per trovare le dosi giuste, aiutandovi con un misuratore di pH per non salire troppo, e fate attenzione che se esagerate avrete un retrogusto amaro lasciato dal bicarbonato.

**Due opzioni.** In caso di pomodori troppo acidi, per una buona salsa fatta in casa si può aggiungere zucchero per mascherare il sapore eccessivamente aspro oppure neutralizzare parte degli acidi aggiungendo bicarbonato.

fcafotodigital/iStock

Questa volta è Alice a proporre a Rudi e Piotr di risolvere un problema, approfittando della loro proverbiale smemoratezza

# Festa? Quale festa?

Lo sguardo di Alice non prometteva nulla di buono.

«Treccia! Sarai contenta di noi, una volta tanto. Abbiamo pianificato tutto per la grande festa: tutto pronto, organizzato, dagli anacardi agli zucchini!»

Il sorriso artificialmente stampato sulla faccia di Piotr non cambia di una virgola l'espressione di Alice.

«Non mi fai ridere, Doc, nemmeno con queste battute alfabetiche. Tanto per cominciare, avete di sicuro scordato le albicocche, e anche se odio sia l'abbacchio che l'aceto, sono sicura che avrete scordato almeno una mezza dozzina di alimenti, se la vostra pianificazione va davvero in ordine alfabetico.»

«Ma, no, che discorsi... tanto per dire, il Capo ha preteso che la prima cosa da depennare fossero le barbabietole, ma insomma il senso è chiaro, no? Il messaggio ti è arrivato: la Grande Festa è del tutto pianificata.»

«Vabbè, sarà... trovo in ogni caso la cosa preoccupante: come mai non avete aspettato come al solito l'ultimo momento?»

«Ehm...», dice Piotr, guardando Rudy.

«Ehm...», risponde Rudy, guardando Piotr.

«Benissimo. Che cosa vorrebbe rappresentarmi questo "Ehm..." stereofonico?»

«Beh – comincia Rudy – se, come tu stessa affermi, non ci siamo ridotti all'ultimo momento, dovresti apprezzare la nostra abnegazione e buona vol...»

«Alt! Stop! Fermi tutti! Micia, vieni qui e affila gli artigli. Come diavole sarebbe a dire "*se, come tu affermi, non ci siamo ridotti all'ultimo...*"? C'è bisogno che lo affermi io? O magari voi due, spudorati che non siete altro, vi siete addirittura...»

«Sì, sì, è vero, ma non ti arrabbiare – piagnucola Piotr – ci siamo quasi dimenticati la data esatta della festa; ma, insomma, solo quasi, non proprio dimenticati, e allora...»

Alice dà una veloce grattatina sul collo a Gaetanagnesi, soddisfatta nel vederla con unghie affilate e pronta a scattare. Poi, con un sorriso più freddo del freezer a quattro stelle della cucina, sibila: «"Quasi" è parola analogica. In un ambito digitale, numerico e kroneckerianamente intero come quello dello scorrere dei giorni, non ha nessun diritto di cittadinanza, esimio Silverbrahms.»

«Su, Treccia, non infierire...», fa Rudy, cercando di pacificarla: «Di solito è proprio Doc a farcire qualsiasi frase di circonlocuzioni e avverbi, non inventartene di nuovi solo per spargere sale sulle ferite.»

«Quali ferite, di grazia? Mi sembrate entrambi integri e tranquilli, anche se rimbambiti al punto di dimenticarsi la cosa più importante di qualsiasi organizzazione di eventi, è cioè il giorno dell'evento stesso!»

«Appunto, siamo tranquilli perché abbiamo organizzato tutto, e adesso che sappiamo perfino di non essere in ritardo, siamo ancora più sereni. Non appena sapremo la data, potremo far partire per tempo l'oliato meccanismo da noi pianificato, e...»

«A proposito di olio, vado a prendere le birre?»

«Doc, tu non ti muovi sin quando non lo dico io. Gaetanagnesi, se questi due si scambiano un numero o una data, sei autorizzata a graffiarli a sangue sin quando, per citare Hamilton, non "smette di uscire perché è finito".»

«Treccia, questo non è onesto! Ho detto che "quasi" non sappiamo la data, ci fai almeno ricapitolare i dati che abbiamo?»

«Mi pare corretto, Micia, *stand-by*. Ma tieniti pronta.»

«Grazie. Allora, tra me e Rudy ci ricordavamo che esistevano una serie di date possibili, tutte nel 2020: 29, 30 o 31 marzo...»

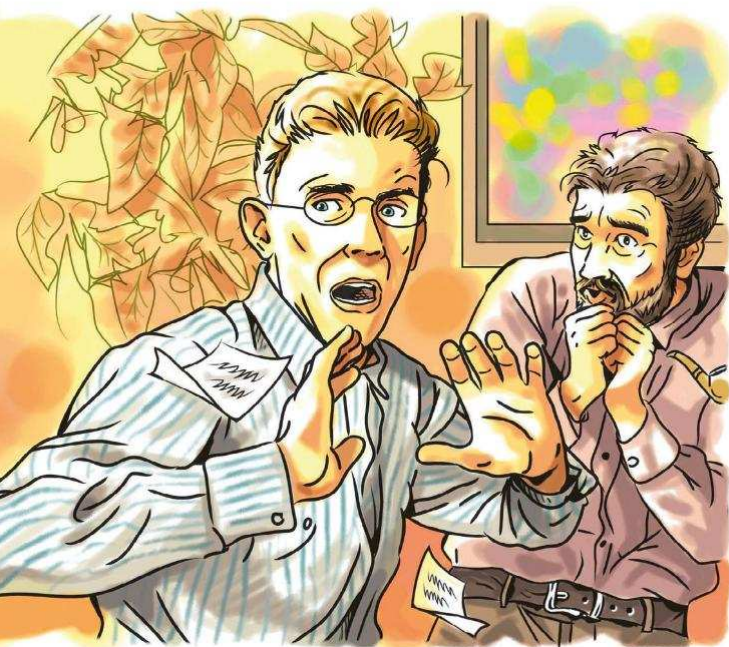
Illustrazione di Stefano Fabbri

di Rodolfo Clerico,
Piero Fabbri e
Francesca Ortenzio

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve a dicembre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

## IL PROBLEMA DI OTTOBRE

Il problema del mese scorso riguardava una griglia rettangolare di pedine della dama disposte casualmente, ma con un numero pari di righe e in modo tale che ogni riga e ogni colonna devono contenere un ugual numero di pedine bianche e nere. Si piazzano dei «ponticelli» bianchi tra due pedine bianche adiacenti (non diagonalmente), si fa lo stesso con ponticelli e pedine nere. Si chiedeva di definire quali le fossero le condizioni per le quali i ponticelli bianchi risultassero in numero maggiore dei neri, e viceversa.

La risposta è che in ogni caso il numero di ponticelli neri uguaglierà il numero dei ponticelli bianchi: lo si può dimostrare con una laboriosa analitica. Si considerino due righe adiacenti di pedine ($i$-esima e $i+1$-esima); si dicano «concordi» le coppie di pedine che si fronteggiano sulle due righe essendo di uguale colore, «discordi» in caso contrario. Ogni riga ha metà delle pedine bianche e metà nere, quindi ogni riga avrà lo stesso numero di pedine bianche: in più, le righe adiacenti avranno lo stesso numero di pedine bianche concordi, e quindi anche lo stesso numero di pedine bianche discordi. Inoltre, ogni pedina bianca discorde sulla riga $i$ avrà di fronte una pedina nera discorde sulla riga $i+1$, quindi il numero delle «nere discordi» di $i+1$ è uguale al numero delle «bianche discordi» in riga $i$, che abbiamo visto essere uguale al numero delle «bianche discordi» di riga $i+1$. Quindi in riga $i+1$ vi è lo stesso numero di «nere discordi» che di «bianche discordi». Siccome la riga $i+1$ ha lo stesso numero di pedine bianche e nere, dovrà avere lo stesso numero di nere concordi e bianche concordi, e quindi il numero dei ponticelli bianchi e neri sarà uguale. Per simmetria, sarà lo stesso anche sulle colonne. La nostra sensazione è comunque che debba esistere una via più diretta di dimostrazione, basata solo su ragioni di simmetria. Se la trovate, postatela sul blog.

«...domenica, lunedì o martedì...», borbotta Rudy.

«...8 o 11 luglio...»

«...mercoledì o sabato...», commenta il barbuto fumatore di pipa.

«...27 o 30 agosto...»

«...giovedì o lunedì...», sempre il CG.

«...8, 27 o 29 dicembre.»

«...martedì, domenica o di nuovo martedì.» Inutile specificare da chi provenisse l'ultimo commento.

«Inappuntabile. Potrebbe restare il dubbio che si parli del 2020 oppure del 2048, però non è importante perché tanto non vi lascerei sopravvivere fino al secondo anno possibile (e, probabilmente, io sarei condannata per strage aggravata da crudeltà nei vostri confronti). Rudy, hai mica mangiato il calendario dell'anno prossimo?»

«No Treccia, tranquilla. Il calendario è ancora a suo posto. Rudy sta solo sfoggiando la sua conoscenza dell'algoritmo di Conway.»

«La formula del Doomsday? Beh, allora risolvete il problema che ho in mente oppure il vostro Giorno del Giudizio finisce stasera. Male.»

«Un problema?»

«Un problema?»

«Già, un problema. Proposto da me a voi due: buffo, eh? Micia, esci dallo stand-by. E, se è il caso, colpisci.»

Alice scarabocchia qualcosa su due foglietti, e li consegna ai due sventurati compari.

«Doc, sul tuo foglietto c'è scritto il mese della festa, mentre su quello di Rudy c'è scritto il giorno. Adesso, sorvegliati dalla gatta, potete provare a vedere se riuscite a ricostruire la data.»

Il primo a parlare è Doc.

«Beh, continuo a non sapere la data, ma ho la certezza che non la sa neanche Rudy.»

Segue, a ruota, Rudy.

«Io non sapevo la data, ma adesso la so!»

E, immediatamente, Doc replica:

«Beh, allora la so anch'io!»

«Che bravi! Siete davvero strabilianti!», sorride Alice, ma solo per tre decimi di secondo: «Ma anche io non me la cavo male, vero? Ho capito che avete messo in piedi tutta questa messinscena per rifilarmi questo quesito che è ormai già un mezzo classico, e vi ho battuto sul tempo. Adesso, per punizione dell'aver tentato di prendermi in giro, avete in carico la totalità dei lavori domestici per due settimane.»

«Cosa? No, te lo scordi, guarda che noi...»

«Micia!»

L'ordine parte prima che la frase di protesta possa terminare. Istantaneamente, si sente netto e chiarissimo il rumore di dieci artigli che escono dalle loro sedi.

# Limiti e potenzialità dell'IA

## Gli sviluppi dell'intelligenza artificiale e i suoi impatti sociali ed etici

**Il confine del futuro**
di Francesca Rossi
Feltrinelli, Milano, 2019, pp. 126 (euro 15,00)

Nel gennaio 2015 un gruppo molto eterogeneo di esperti – ricercatori nel campo dell'intelligenza artificiale (IA), filosofi, psicologi, avvocati – sono stati riuniti a Porto Rico da Max Tegmark, fisico e cosmologo del Massachusetts Institute of Technology e fondatore del Future of Life Institute, con l'intento di discutere come orientare gli sviluppi futuri dell'IA in una direzione più benefica possibile per l'umanità. Da quell'incontro è nata una lettera aperta a cui hanno aderito tra gli altri Stephen Hawking ed Elon Musk che ha fatto rapidamente il giro del mondo, attirando come mai prima l'attenzione su rischi e opportunità derivanti dall'intelligenza artificiale. Tra i partecipanti all'incontro c'era anche Francesca Rossi, per anni docente di informatica all'Università di Padova e oggi *global leader* per l'etica dell'intelligenza artificiale di IBM negli Stati Uniti, che con questo libro ha stilato innanzitutto una guida chiara e accessibile all'IA.

Rossi prende in prestito una distinzione resa celebre dallo psicologo cognitivo e premio Nobel per l'economia Daniel Kahneman, quella tra pensieri lenti e pensieri veloci. Se il pensiero veloce è quello tipico delle decisioni basate sull'intuizione e le emozioni, con il pensiero lento ragioniamo in modo conscio prima di arrivare a una decisione. Pur tenendo bene a mente che cervello umano e macchine sono fondamentalmente diverse, questa distinzione ci aiuta secondo l'autrice a capire le due modalità con cui si è sviluppata finora la ricerca nell'IA. Da una parte le tecniche che permettono di risolvere problemi seguendo un ragionamento logico e simbolico, con una ricetta precisa – un algoritmo procedurale – da seguire, e che hanno segnato lo sviluppo dei primi decenni di questo settore; dall'altra le tecniche emerse più di recente come il *deep learning* (apprendimento profondo), meno precise ma molto più potenti, in cui i ricercatori danno in pasto all'IA grandi quantità di dati e il sistema è in grado di apprendere come risolvere problemi anche assai complessi.

In verità, ci ricorda Rossi, più che di intelligenza artificiale sarebbe appropriato parlare di *augmented intelligence* (intelligenza aumentata) e cita Garry Kasparov, il campione di scacchi che subì nel 1997 la prima simbolica sconfitta contro l'IA di Deep Blue, e che da allora è diventato un sostenitore dell'approccio collaborativo, creando tornei di scacchi con giocatori umani affiancati da computer. L'autrice ricorda anche l'esempio delle diagnosi di cancro al seno: uno studio pubblicato nel 2016 ha messo in luce che se per i migliori medici la percentuale di errore era in media del 3,5 per cento, i sistemi di IA da soli sbagliavano nel 7,5 per cento dei casi, mentre i dottori coadiuvati dall'IA solo nello 0,5 per cento.

L'utilità del libro è proprio nel far capire le grandi potenzialità e i limiti reali dei sistemi di IA, ormai molto abili in compiti specifici, ma ancora facilmente ingannabili per esempio di fronte alla comprensione di una frase complessa. Il quadro generale che Rossi disegna con grande chiarezza pone le premesse per discutere degli impatti sociali e delle questioni etiche legate all'IA, dall'uso nel campo degli armamenti ai bias razziali incorporati dai sistemi di riconoscimento facciale o nelle traduzioni, ai cambiamenti nei luoghi di lavoro, alla gestione dei dati personali e all'uso nei tribunali.

Alla domanda del sottotitolo «possiamo fidarci dell'intelligenza artificiale?» Rossi risponde, con uno spirito di ottimismo razionale, raccontando la varietà di iniziative avviate a livello globale per stilare principi guida per l'etica dell'IA. E questo libro è un invito a conoscere, partecipare e sorvegliare, come cittadini, affinché l'evoluzione dell'IA sia allineata ai valori umani.

*Marco Motta*

# Noi e i nostri batteri

## Un quadro completo delle ricerche sul microbioma

A un certo punto lo ammette anche l'autore: se non fosse stato per non perdere la citazione di Walt Whitman, questo libro si sarebbe intitolato «io sono moltitudini», non solo le «contengo». Perché alla fine delle sue 400 pagine, il messaggio è che tutto in natura si basa sulla convivenza, compresa quella tra esseri grandi e piccoli. E questo vale per chiunque: ci siamo evoluti insieme come specie viventi di questo pianeta, cresciamo insieme come individui. Con il risultato che ciascuno è una colonia, un «collettivo multi-specie, un mondo intero».
Ed Yong è un famoso giornalista scientifico inglese (il suo blog *Not exactly rocket science* è stato uno dei blog di scienza più seguiti degli ultimi anni) e questo è il suo primo libro. Ricco di interviste originali e con una corposa bibliografia di 80 pagine, è forse il testo divulgativo che oggi dà il quadro più completo delle ricerche sul microbioma e di come queste ricerche stiano cambiando la nostra visione della natura.
Sì, perché all'inizio della storia della microbiologia nessuno aveva attribuito un senso «morale» ai batteri, ma presto si capì che alcuni di loro erano responsabili di malattie e l'obiettivo fu a lungo solo quello di distruggerli. C'era chi aveva intuito l'idea di simbiosi e i suoi vantaggi, ma per tutti gli altri il batterio era un patogeno, gli antibiotici dominavano la nostra farmacopea, e l'imperativo era l'antisepsi assoluta.
Le cose sono cambiate a fine Novecento, grazie allo sguardo di chi ha saputo andare al di là della patologia per studiare l'ecologia dell'intero pianeta, finendo per sovvertire il concetto di individualità. Oggi sappiamo che ci sono più batteri nel nostro intestino che stelle nella nostra galassia: con loro viviamo in una negoziazione continua, che plasma il nostro sistema immunitario e probabilmente anche il nostro umore. In altre specie animali i batteri decidono intere funzioni vitali. Ma levatevi dalla testa anche l'idea zuccherosa dei batteri «buoni». Stiamo parlando di natura: ciascuno fa quel che può per la propria sopravvivenza, in equilibrio obbligato con un sacco di altra gente.

*Silvia Bencivelli*

ED YONG
CONTENGO MOLTITUDINI
I MICROBI DENTRO DI NOI E UNA VISIONE PIÙ GRANDE DELLA VITA
La nave di Teseo + i Fari

**Contengo moltitudini**
di Ed Yong
La nave di Teseo, Milano, 2019,
pp. 480 (euro 24,00)

# L'informatica è femminile

## Nella storia dei computer le donne sono state fondamentali

Uomo, giovane, bianco, di solito asociale, che pensa in codice. È lo stereotipo dell'informatico costruito dalla stampa occidentale degli anni ottanta, quando il computer diventa uno *status symbol* e le donne spariscono definitivamente dall'immaginario di questo mondo. Occorre allora riscrivere la storia. È una donna, Ada Byron Lovelace, a inventare il primo algoritmo a metà Ottocento, guardando già all'intelligenza artificiale. Figlia di un poeta e di un'appassionata di matematica, incarna il profondo legame tra immaginazione e scienza in cui crede fermamente. Lavora con Charles Babbage che, ammirandola, la definisce «incantatrice di numeri», eppure la storia la relega al ruolo di assistente. Ne prende il testimone un secolo dopo Grace Hopper, nella prima realizzazione della macchina di Babbage. Ama la didattica, crede nella cooperazione e nel fatto che per risolvere i problemi occorra prima capire come comunicarli. A lei si deve l'introduzione di linguaggi di programmazione macchina-indipendenti e del termine *bug*, quando sbloccò una macchina liberandola da una falena.
C'è poi Hedy Lamarr, inventrice del metodo FHSS, oggi alla base delle telecomunicazioni, ma valorizzata solo per il bel viso da primi piani hollywoodiani. E poi ci sono le altre, quelle che hanno reso possibile la missione Apollo 11, o che, fotografate come ragazze immagine a fianco di ENIAC – primo computer elettronico *general purpose* – ne sono in realtà le abili operatrici.
Firmato da una storica dell'informatica, il saggio restituisce esistenza e dignità anche alle tante *computers* «usate» per mansioni «noiose e ripetitive» e poi gettate nell'ombra, una volta scoperta la centralità della programmazione nella nascente scienza dell'informazione. Ma la storia rimane impressa nel linguaggio: se l'*hardware*, la costruzione delle macchine, più dura e importante è prerogativa maschile, il *software*, compito più «leggero», è per le donne. Che nonostante tutto hanno saputo essere appassionate e geniali, risorgendo come fenici dopo periodi bui di depressione e discriminazione, per ricominciare con lo stesso slancio di prima.

*Giulia Alice Fornaro*

Carla Petrocelli
Il computer è donna
Eroine geniali e visionarie che hanno fatto la storia dell'informatica
prefazione di Mario Tozzi
edizioni Dedalo

**Il computer è donna**
di Carla Petrocelli
Dedalo, Bari, 2019,
pp. 136 (euro 16,00)

# Un gelo mortale (o vitale)

## Da nemico letale ad agente terapeutico, i volti del freddo

«Immagino siate sorpresi di trovarmi qui!». Gli scalatori avevano tutti i motivi per sorprendersi. La sera prima Lincoln Hall era stato abbandonato dagli *sherpa* vicino alla vetta dell'Everest. Perso il controllo di sé, non rispondendo più agli stimoli, col respiro sempre più lieve, era chiaro che sarebbe stato impossibile riportarlo al campo. Così aveva passato la notte a 8600 metri di quota. A digiuno. Senza ossigeno. A -25°C. Ma la mattina dopo lo ritrovarono «non solo sveglio, ma nella postura della meditazione. Era confuso ma presente, e riusciva a camminare. Salutò gli alpinisti» con quella frase. Come fece a sopravvivere? Nessuno lo sa, ma forse una fortunata serie di circostanze gli permise di entrare in torpore, una sorta di ibernazione come quella di cui sono capaci alcuni animali. È insomma uno di quella manciata di casi noti «nei quali il freddo sembra improvvisamente e inaspettatamente risparmiare le sue vittime e proteggerle».

Quella di Lincoln non è che una delle storie con cui Matteo Cerri, giovane neurofisiologo e membro del Topical Team Hibernation dell'Agenzia spaziale europea, punteggia la sua trattazione, scorrevole e godibile, dei tre volti del freddo. C'è il freddo nemico e a volte killer, dal generale inverno che decima gli eserciti in Russia alla piccola fiammiferaia, passando per pesci con l'antigelo, reni vitrificati, e uomini sconvolti da qualche decimo di febbre. E c'è il freddo come cura, con l'ipotermia terapeutica nelle sale operatorie e in terapia intensiva, per rallentare il metabolismo e salvare organi delicati come il cervello. Ma anche, prima delle tecnologie odierne, con «la scoperta dell'acqua fredda» per realizzare un'ipotermia *ante litteram*.

C'è infine il freddo come speranza: si può realizzare negli esseri umani qualcosa di simile all'ibernazione? Saranno possibili i voli interstellari di astronauti ibernati immaginati da tanta fantascienza? L'idea è utopistica, ma c'è già chi paga per essere crioconservato dopo la morte, sperando che tecnologie future lo riportino in vita. Oltre la vita c'è speranza, per costoro. Grazie al freddo.

*Giovanni Sabato*

**La cura del freddo**
di Matteo Cerri
Einaudi, Torino, 2019,
pp. 164 (euro 13,00)

# Gli androidi e loro fratelli

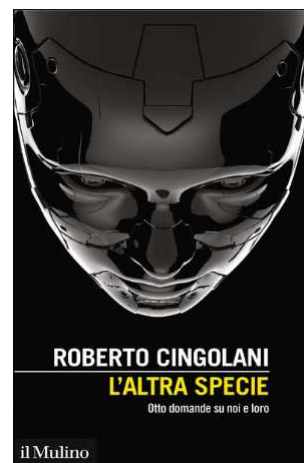
## Un bilancio della robotica e le prospettive per il futuro

«Otto domande su noi e loro». Così recita il sottotitolo, dove «loro» sono i robot che abbiamo costruito. Alcuni li conosciamo piuttosto bene, perché vivono tra di noi da tempo, sotto forma di macchine che fanno alcuni lavori al posto nostro. Altri, come iCub, sono diventati star della ricerca mondiale. Sotto diversi aspetti hanno plasmato il nostro mondo, insinuando anche paure per una loro fantascientifica rivolta contro gli esseri umani.

Dello sviluppo della robotica come un campo ben definito, di enorme applicazione e di grande impatto sulla società è stato protagonista Roberto Cingolani, fino a quest'estate direttore scientifico dell'Istituto italiano di tecnologia (IIT), che ha creato iCub, che ha aperto la strada ai plantoidi, che ha dato il là allo sviluppo della pelle artificiale, solo per citare alcuni risultati che nella sua breve esistenza, non priva di qualche polemica più di stampo politico, l'IIT ha raggiunto. È quindi una sorta di bilancio questo volume guidato dalle domande della giornalista Caterina Visco. Come se fosse l'ultima intervista a un avventuriero prima di un nuovo viaggio.

Innanzitutto c'è da chiarire che cosa si intenda per «altra specie», un termine che Cingolani usa scusandosi con i biologi. Si tratta di qualcosa che è uscito dai laboratori e che non ha un corrispettivo in natura. Se un robot umanoide si ispira a noi per aspetto e funzioni, e se un plantoide imita comportamenti delle piante, un robot come il centauro dell'IIT non ha un corrispettivo «naturale». Quando nelle prime pagine un piccolo visitatore lo scorge per la prima volta, «vede l'artefatto di una cosa che non esiste in natura e capisce che questa è una nuova specie e ne rimane affascinato».

Una alterità che, previsione dell'autore, porterà presto sulla strada dello sviluppo di robot che avranno tanti corpi separati, ma una sola mente condivisa in *cloud*, capace di imparare dalle esperienze di ogni elemento collegato. La strada futura però non è unica, è anzi transdisciplinare e variabile per sua stessa natura, perché segue la varietà delle esigenze di una società sempre più complessa ed esigente.

*Marco Boscolo*

**L'altra specie**
di Roberto Cingolani
il Mulino, Bologna, 2019,
pp. 170 (euro 14,00)

Cagliari dal 7 al 12 novembre
Oristano, Siniscola, Sarcidano, Iglesias dal 13 al 30 novembre
www.festivalscienzacagliari.it

# Povera cultura senza la scienza

## A Cagliari il FestivalScienza affronta i rapporti tra ricercatori e società

La dodicesima edizione del festival cagliaritano, anche se ormai stabilmente diffuso in un territorio più ampio nell'arco di quasi un mese, ha per titolo *Scienza è cultura*. Con questa scelta, ha sottolineato la presidente del festival Carla Romagnino, «è nostro desiderio far capire che senza scienza non vi può né essere cultura, né futuro, né progresso». O per lo meno si tratterebbe di una cultura più povera e di un futuro più fosco. Non si tratta di una consapevolezza che sta emergendo solo ora, ma da secoli caratterizza il rapporto tra scienza e società, tra scienza e altre forme di cultura. Basti pensare ai cascami filosofici ed etici delle idee innovative di figure come Niccolò Copernico e Galileo Galilei, oppure a come lo studio delle neuroscienze stia cambiando il nostro modo di concepire le emozioni che caratterizzano il nostro comportamento.

Questo rapporto tra scienza e cultura è più che ben incarnato da Pier Andrea Mandò, fisico che tra i primi ha applicato la tecnica dell'analisi con fasci di ioni ai beni culturali, per esempio per analizzare gli inchiostri usati proprio da Galileo e i capolavori pittorici del Rinascimento italiano. A fargli compagnia nella doppia conferenza inaugurale è Giacomo Rizzolatti, che scandaglierà il ruolo dei neuroni specchio da lui stesso scoperti nella capacità che abbiamo di comprendere le azioni e le emozioni altrui attraverso l'empatia. Altro ospite di peso è Sandra Savaglio, astrofisica di fama mondiale che parlerà del suo ultimo libro, *Tutto l'universo per chi ha poco spazio-tempo*, che accompagnerà i presenti in un intenso viaggio alla scoperta di quello che sappiamo sull'origine dell'universo.

Oltre ai 100 eventi, alle cinque mostre e alle 15 postazioni con laboratori per mettere le mani sugli esperimenti, il FestivalScienza Cagliari inaugura quest'anno anche il Premio nazionale donna di scienza, con lo scopo di riconoscere il ruolo di donne che hanno contribuito all'avanzamento della Sardegna in campo scientifico. È una iniziativa che l'associazione organizzatrice sentiva di dover fare perché, come spiegano loro stessi, «ancora oggi la parità di genere, nonostante i traguardi raggiunti negli ultimi anni [...] anche all'interno della comunità scientifica, resta fortemente condizionata dagli stereotipi».

Auguriamo al premio di riuscire almeno un po' a sgretolarli e di ispirare le scienziate di domani.

*Marco Boscolo*

**Mettere le mani.** Laboratori delle edizioni passate del festival scientifico nato a Cagliari e ora diffuso anche in altre località della Sardegna.

Cortesia Cagliari Festival Scienza/photo Consorzio Camù (*in basso e a destra*); Cagliari Festival Scienza (*in alto*)

## Prossimo numero

a dicembre

### Un superconduttore da sogno

*di Bob Henderson*

La realizzazione di un superconduttore in grado di funzionare a temperatura ambiente potrebbe rivoluzionare la distribuzione di energia elettrica, contribuendo alla soluzione del mutamento climatico. Ma quanto siamo vicini a questo traguardo?

### Dossier: la salute riproduttiva delle donne

*di Virginia Sole-Smith, Cristina Da Rold e Valentina Murelli*

La salute riproduttiva femminile è stata a lungo affrontata in una prospettiva morale e religiosa anziché scientifica. Il dossier approfondisce la situazione, esplorando le tecniche di contraccezione e di fecondazione assistita e la situazione della mortalità materna in Italia e i tabù che ancora circondano il ciclo mestruale.

### Strategie di lotta tra animali

*di Gareth Arnott e Robert W. Elwood*

Studi recenti su come gli animali decidono se combattere contro un avversario o scappare rivelano una gamma di strategie fortemente dipendente dalle capacità cognitive poiché sotto questo aspetto la valutazione reciproca è più impegnativa di altre tattiche.

Spencer Lowell (*esperimento per superconduttori*); Vince Burton/Alamy (*lotta animale*)


LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

*Direttore responsabile*
Marco Cattaneo

*Redazione*
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Andrea Mattone (*grafico*), Cinzia Sgheri, Giovanni Spataro

*Collaborazione redazionale*
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio

*Segreteria di redazione:*
Andrea Lignani Marchesani

*Progetto grafico:* Giovanna Salvini

*Referente per la pubblicità*
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

*Pubblicità:*
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano,
telefono: (02) 574941

*Stampa*
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

*Consiglio di amministrazione*
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

*Responsabile del trattamento dati*
Il responsabile del trattamento dei dati raccolti in banche dati di uso redazionale è il direttore responsabile a cui è possibile rivolgersi scrivendo a privacy@lescienze.it per i diritti previsti dal Regolamento (UE) 2016/679 sulla protezione dei dati personali.

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - ottobre 2019





ISSN 2499-0590





SCIENTIFIC AMERICAN

*Editor in Chief and Senior Vice President*
Mariette DiChristina

*President*
Dean Sanderson

*Executive Vice President*
Michael Florek

Hanno collaborato a questo numero
*Per le traduzioni*: Francesca Bernardis: *Disonestà contagiosa*; Silvio Ferraresi: *Il creatore della realtà*; Eva Filoramo: *Inganni nel mondo animale*, *Confrontare le incognite*; Daniele Gewurz: *Realtà virtuale*, *Il gioco dei numeri*; Lorenzo Lilli: *Perché ci fidiamo delle bugie*, *Cambiamento radicale*; Alfredo Tutino: *Come imbrogliare la democrazia*, *Scelte difficili*, *Un nuovo disordine mondiale*.





ABBONAMENTI E ARRETRATI
GEDI Distribuzione S.p.A.

Per informazioni sulla sottoscrizione di abbonamenti e sulla richiesta di arretrati telefonare al numero 0864.256266 o scrivere a abbonamenti@gedidistribuzione.it o arretrati@gedidistribuzione.it
Fax 02.26681986.

| Italia | |
|---|---|
| abb. annuale | € 39,00 |
| abb. biennale | € 75,00 |
| abb. triennale | € 99,00 |
| copia arretrata | € 9,00 |
| Estero | |
| abb. annuale Europa | € 52,00 |
| abb annuale Resto del Mondo | € 79,00 |

FIEG

Accertamento diffusione stampa certificato n. 8593 del 18/12/2018